

De la navigation exploratoire virtuelle à la planification d'interventions endovasculaires

Oscar Dario ACOSTA-TAMAYO

Laboratoire Traitement du Signal et de l'Image (LTSI)
INSERM – U642,
Université de Rennes 1
Projet ALFA-beta (Université des Andes – Colombie)



- Chirurgie et interventions mini-invasives

- Intérêt

- Traumatisme moindre
 - Hospitalisation courte

- Difficultés

- Accessibilité
 - Manipulation
 - Visualisation

Introduction

Problématique

Approche méthodologique

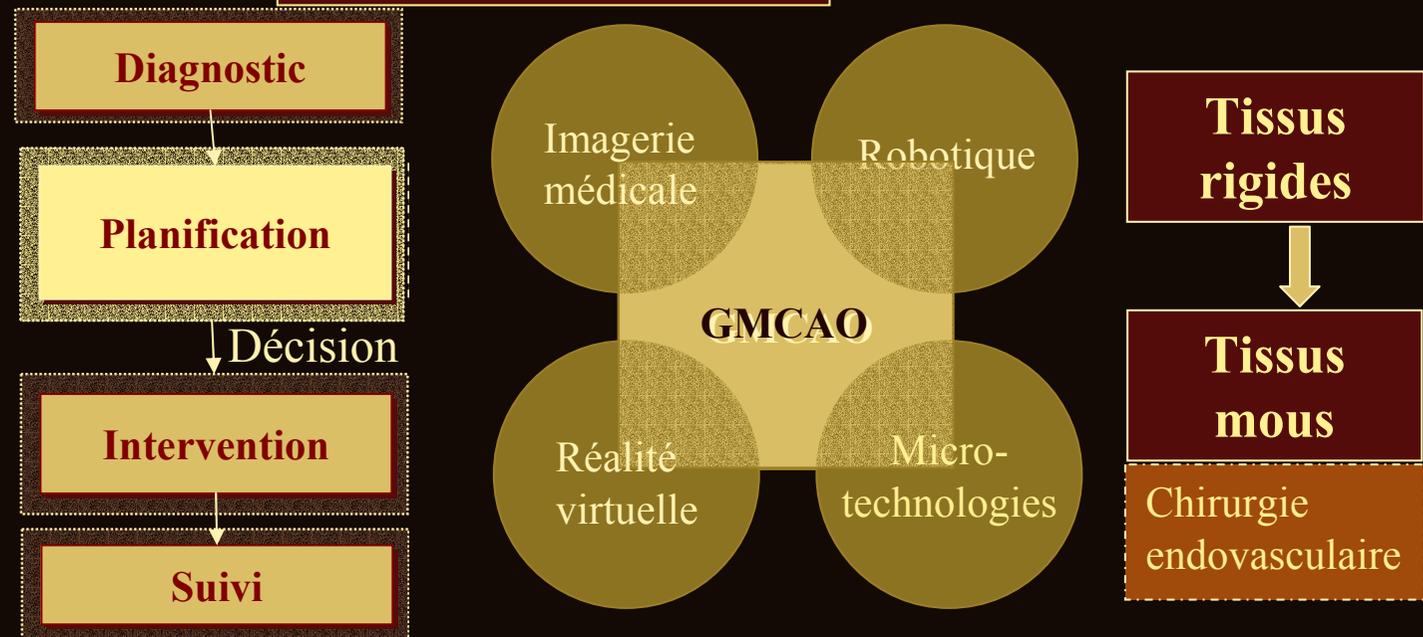
- Description des données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives

Processus thérapeutique



Introduction

Problématique

**Approche
méthodologique**

**• Description des
données patient**

• Simulation

Brachythérapie

**Conclusions
Perspectives**

• Lésions vasculaires

– Athérosclérose

- Sténoses
- Anévrismes de l'aorte abdominale (AAA)

Introduction

Problématique

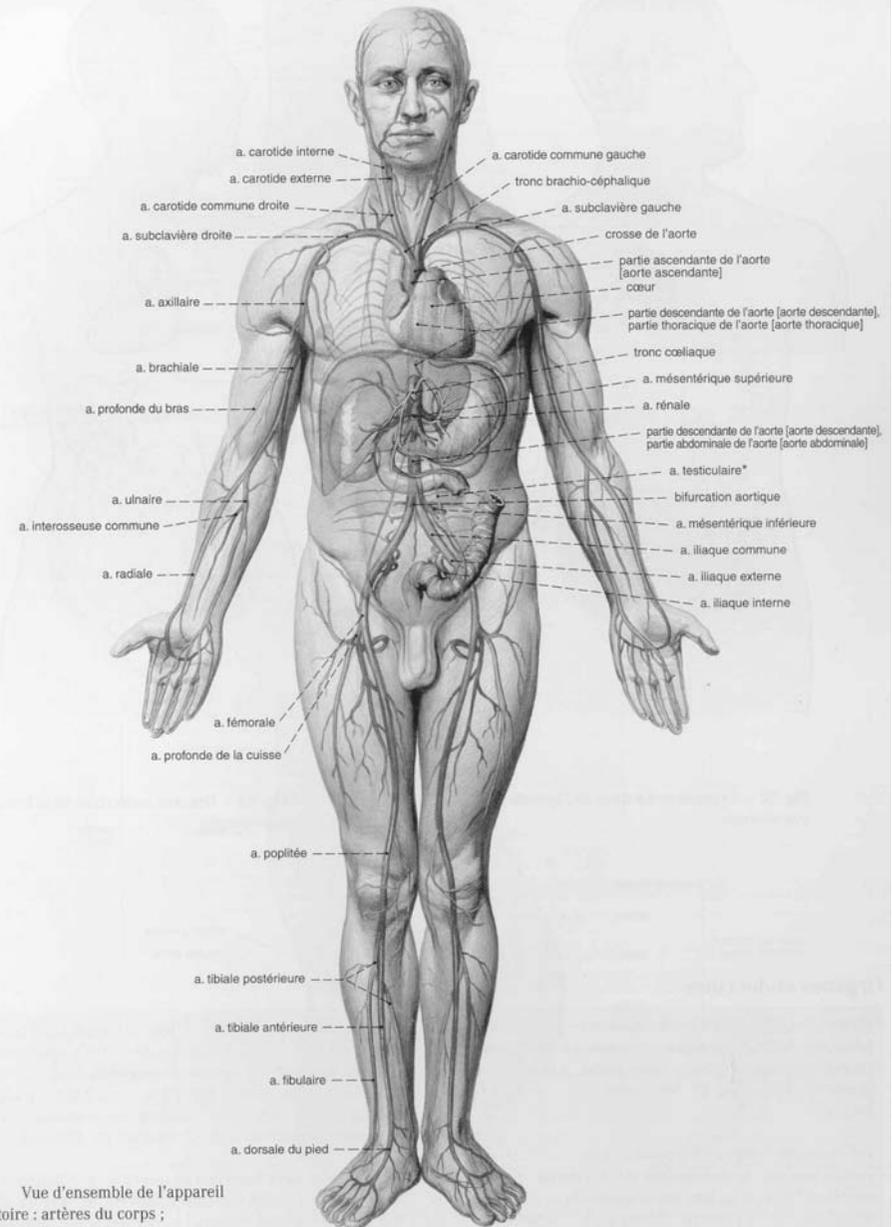
Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



34 Vue d'ensemble de l'appareil vasculaire : artères du corps ; ventrale.

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

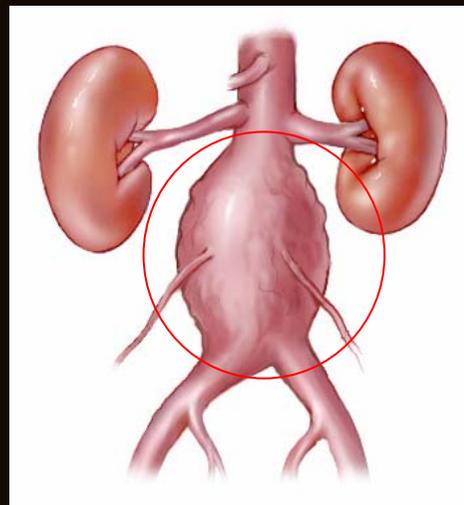
Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

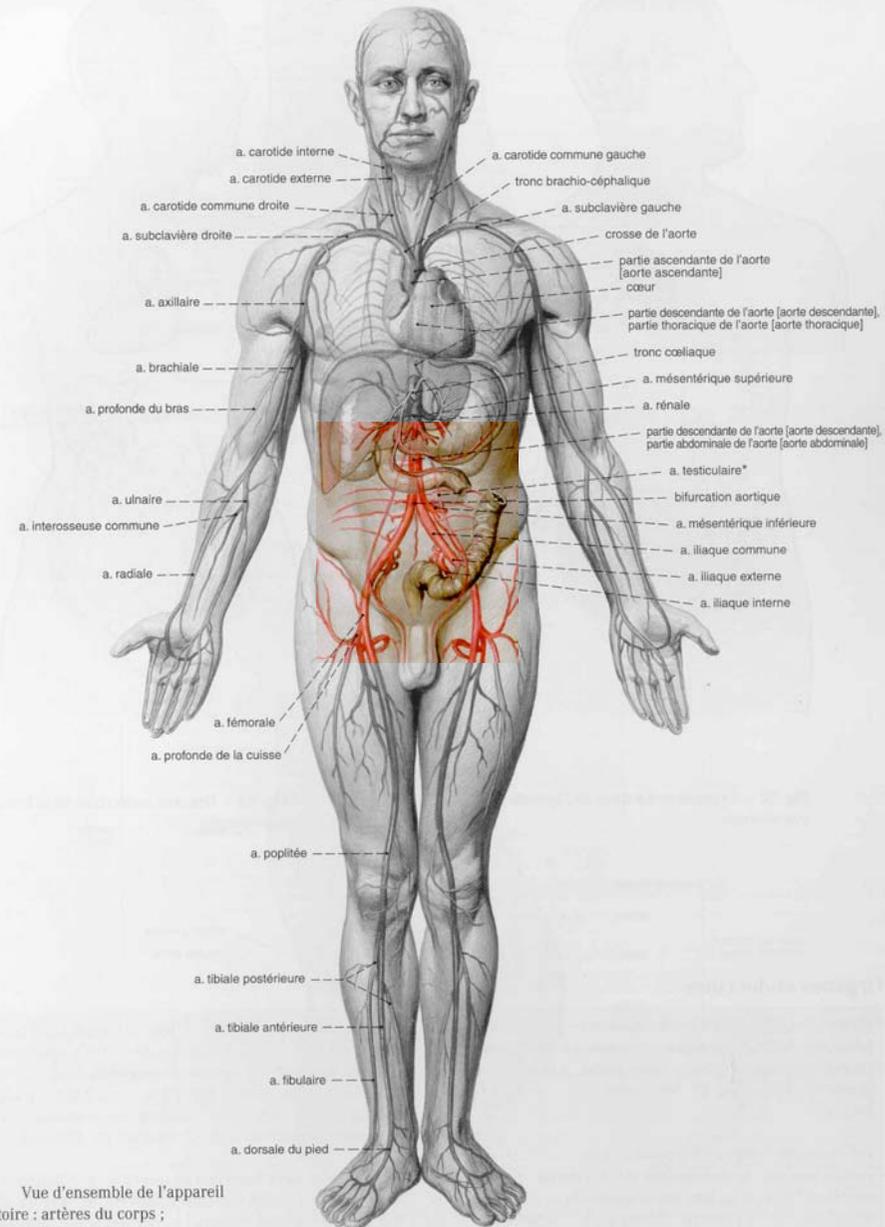
- **Lésions vasculaires**
 - Athérosclérose

- Sténoses
- Anévrismes de l'aorte abdominale (AAA)

Dilatation permanente et localisée du vaisseau



Structure aortoiliaque



• Traitements endovasculaires

PLANIFICATION



- Angioplastie Transluminale (ATL) } Sténoses
- Brachythérapie endovasculaire } Sténoses
- Pose d'endoprothèse aortique } AAA

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

• Traitements endovasculaires

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

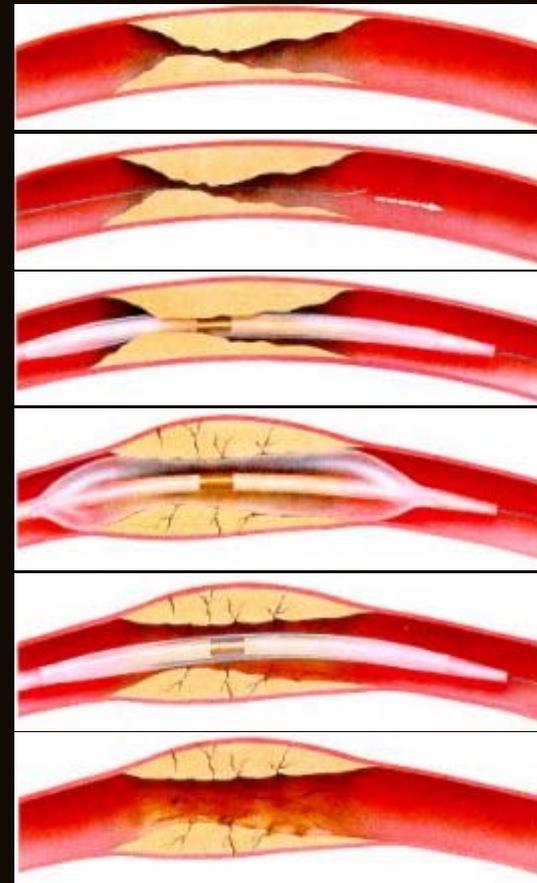
Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

- Angioplastie Transluminale (ATL)
- Brachythérapie endovasculaire
- Pose d'endoprothèse aortique

Dilatation de la lésion
par un ballonnet.

- Paramètres du ballon :
Taille, position



• Traitements endovasculaires

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

- Angioplastie Transluminale (ATL) – Pose de stent
- Brachythérapie endovasculaire
- Pose d'endoprothèse aortique

Treillis métallique
cylindrique.

- Paramètres du stent :
Taille, position

Stent



• Traitements endovasculaires

Introduction

Problématique

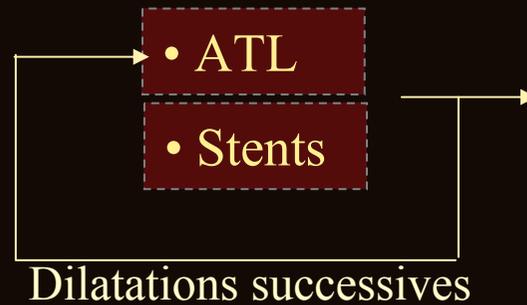
Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



Resténose

30 à 65% selon
localisation (*Faj98*)

• Améliorer la procédure

Planification précise des
paramètres de l'intervention

• Traitements complémentaires
préventifs

• Procédés pharmacologiques
• Stents enduits
• Brachythérapie

• Traitements endovasculaires

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

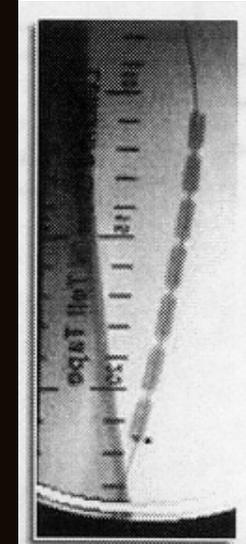
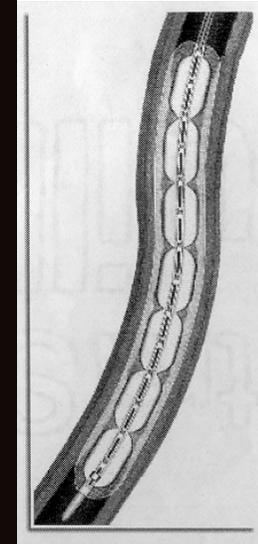
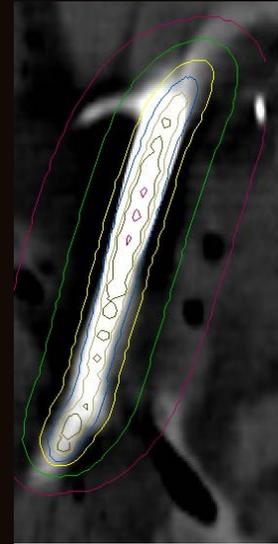
Conclusions
Perspectives

- Angioplastie Transluminale (ATL)
- Brachythérapie endovasculaire
- Pose d'endoprothèse aortique

ATL



Irradiation par une
source radioactive
(voie endovasculaire)



Artères coronaires
Artères périphériques

- Trajectoire
- Temps de pose
- Localisations

• Traitements endovasculaires

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

- Angioplastie Transluminale (ATL)
- Brachythérapie endovasculaire
- Pose d'endoprothèse aortique

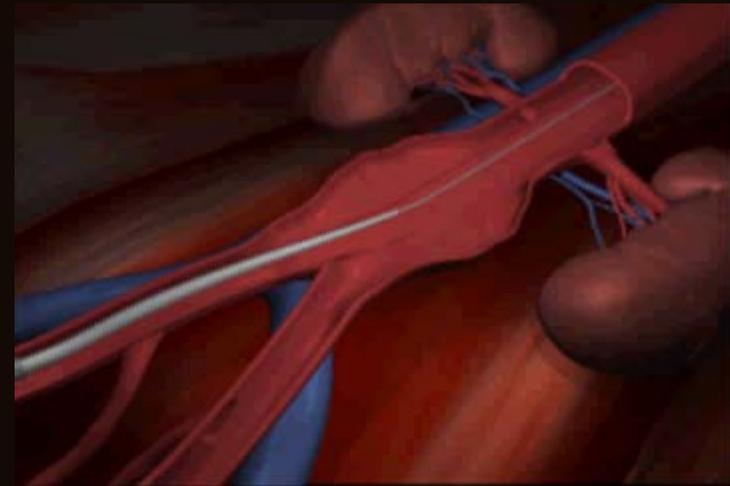
Exclusion de l'anévrisme



Endoprothèse (couverte et étanche) fixée aux parois artérielles



Procédure complexe



Cook

Endoprothèses aortiques

- Aorto-uni-iliaques ou bifurquées
- Modulaires
- Fenêtrées (ouvertures au niveau des artères rénales).
- Sur mesure

- Forme
- Taille
- Position
- Voie d'abord
- Orientation

- Planification préopératoire

Introduction

Problématique

**Approche
méthodologique**

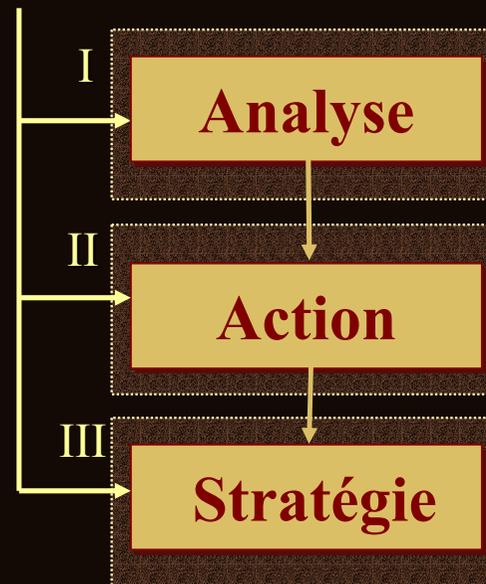
- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Données
patient



• Planification préopératoire

Introduction

Problématique

Approche méthodologique

- Description des données patient

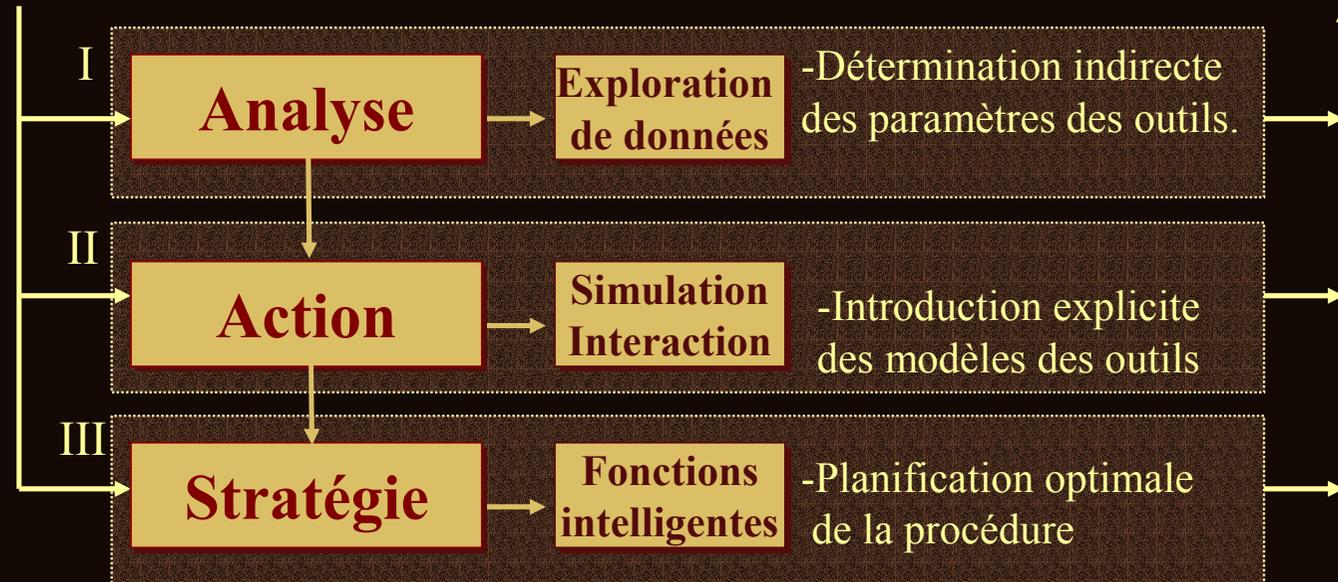
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Données patient

Aide à la décision



• Planification préopératoire

Introduction

Problématique

Approche méthodologique

- Description des données patient

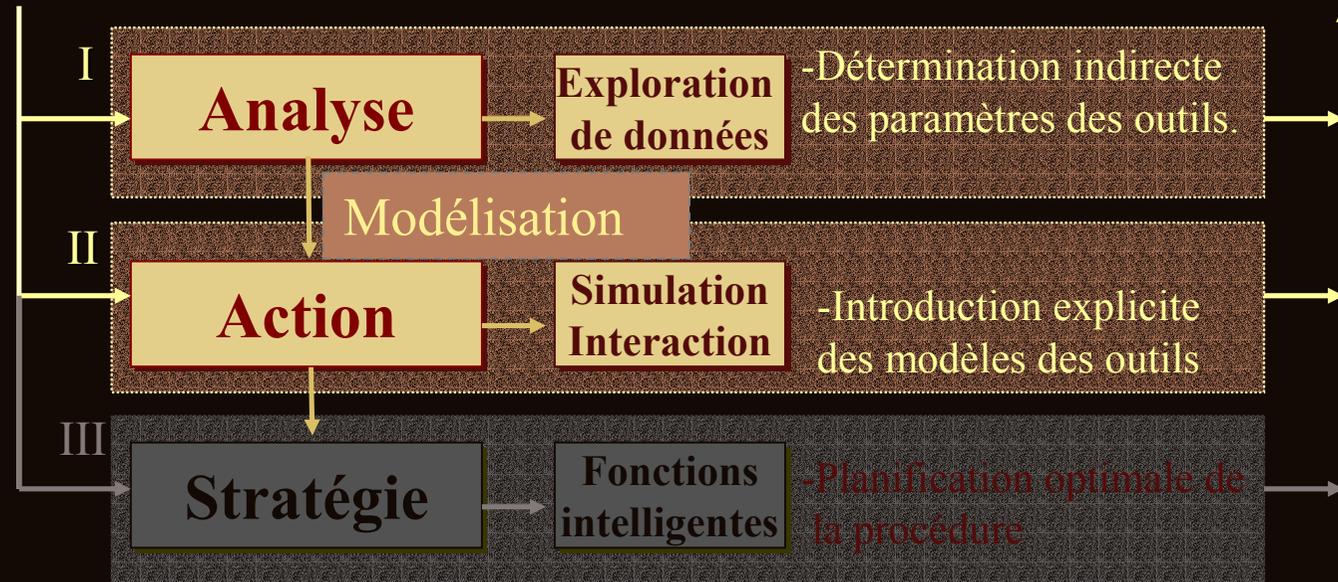
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Données patient

Aide à la décision

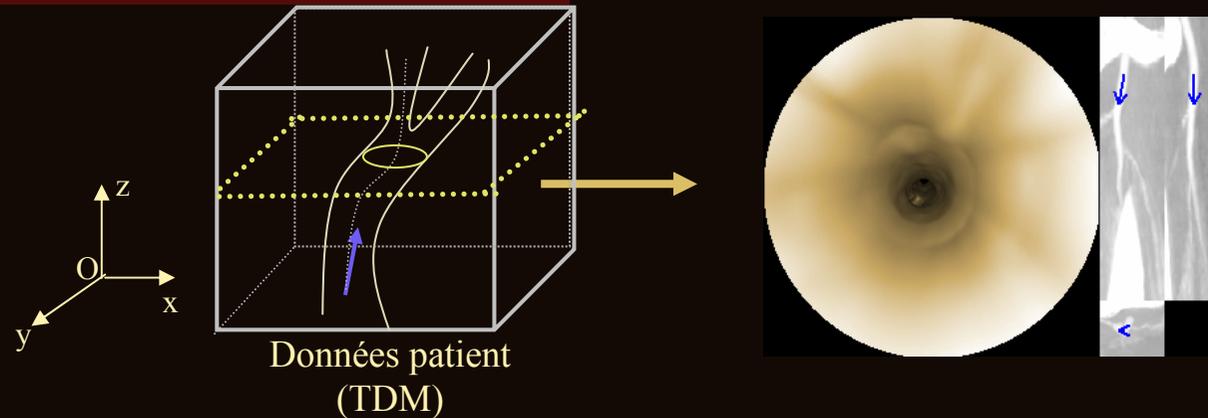


• Analyse de structures vasculaires

- Exploitation optimale de l'information spécifique patient
 - Volumes de données de tailles importantes
 - Extraction automatique de l'information / techniques manuelles

• Endoscopie virtuelle

– Angioscopie virtuelle (vaisseaux)



- Exploration d'un volume image grâce à un capteur optique virtuel qui se déplace à l'intérieur des structures anatomiques sans segmentation préalable.

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

- Analyse de structures vasculaires

- Angioscopie virtuelle

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Données

Prétraitement

Visualisation

Techniques d'analyse
d'images vasculaires :

- Suivi de vaisseaux

Navigation exploratoire
virtuelle

Observation

Capteur virtuel actif

Exploration de données

Fonctions d'analyse de structures
anatomiques

- Segmentation

- Méthodes automatiques
- Utilisation de la visualisation

- **Navigation Exploratoire Virtuelle**
 - Schéma de navigation

Introduction

Problématique

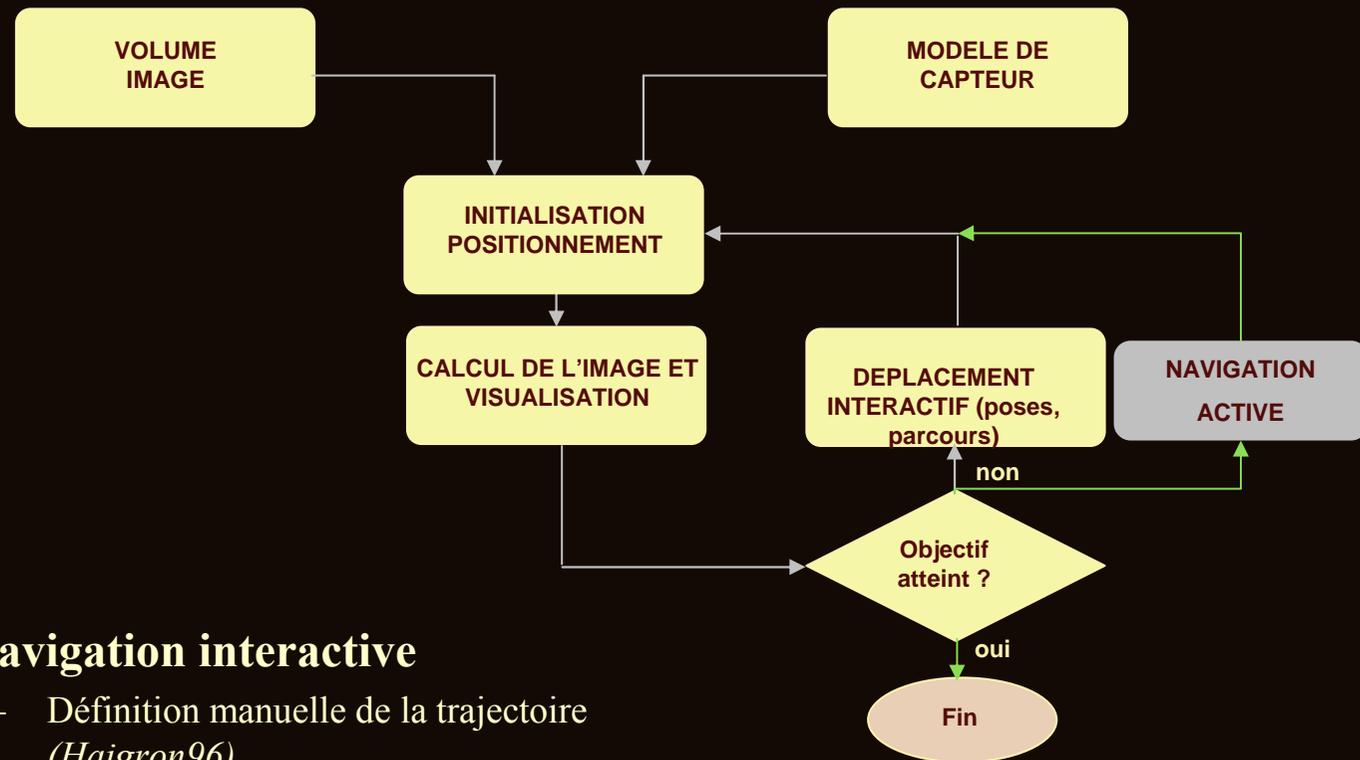
Approche méthodologique

- Description des données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives



- **Navigation interactive**

- Définition manuelle de la trajectoire (Haigron96)

- **Navigation active**

- Analyse de la scène observée au cours du déplacement. Définition automatique de la trajectoire et description structurelle du réseau vasculaire (Bellemare, et al. 1999).

- **Navigation Exploratoire Virtuelle**
 - Extension du modèle du capteur (2)

Introduction

Problématique

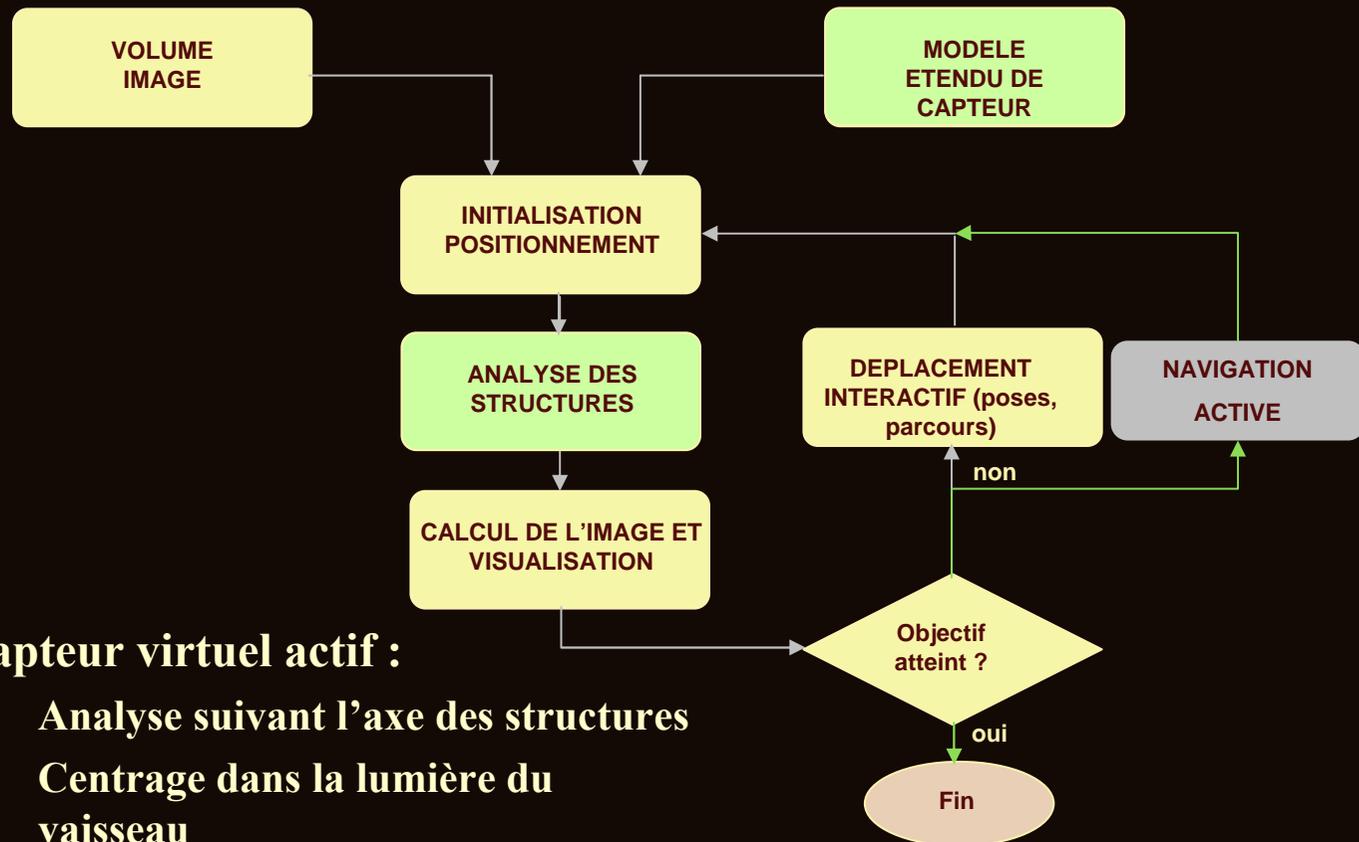
Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



- **Capteur virtuel actif :**
 - Analyse suivant l'axe des structures
 - Centrage dans la lumière du vaisseau
 - Temps de calcul
 - Opérateur indépendant

• Navigation Exploratoire Virtuelle

Introduction

Problématique

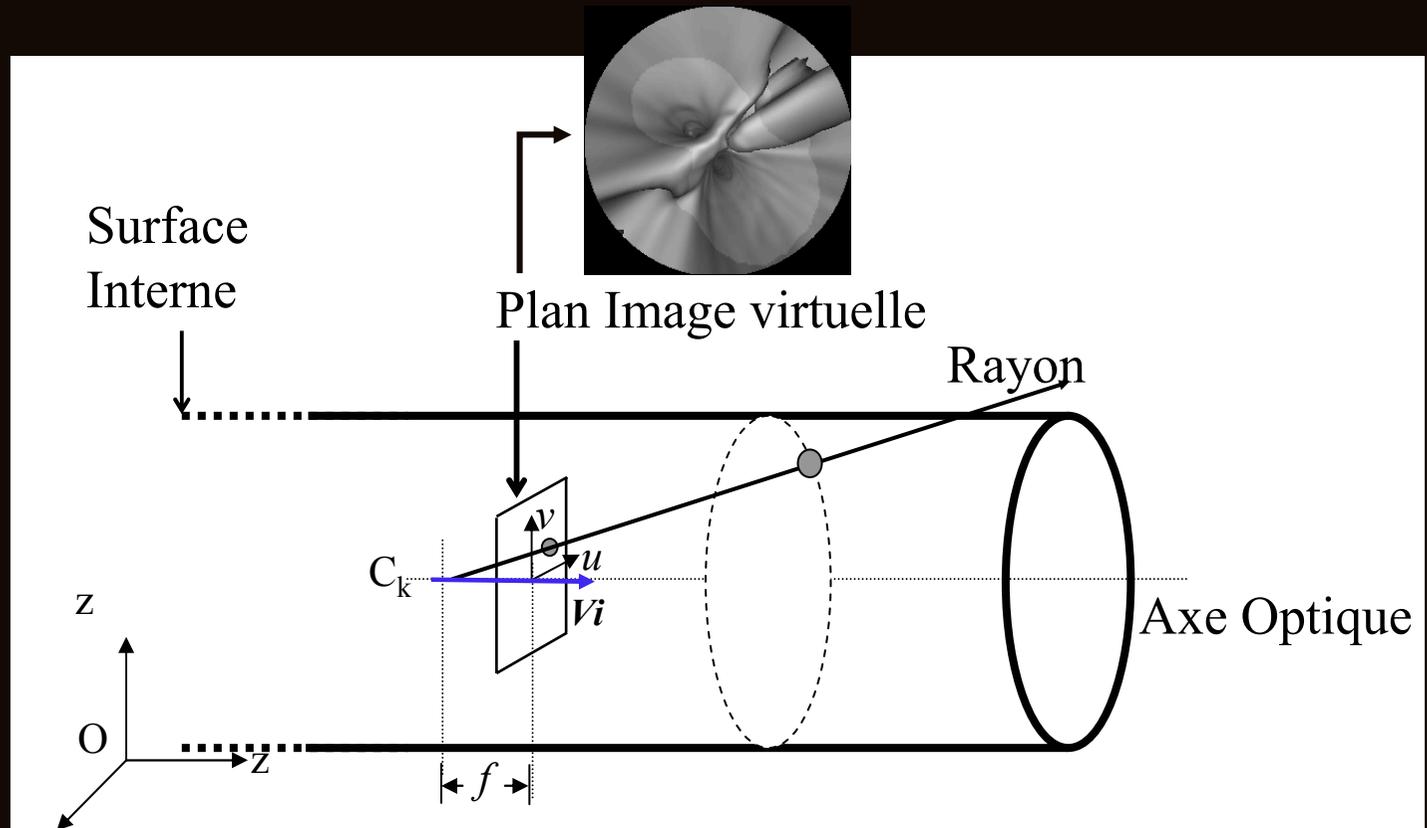
Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



Modèle géométrique de l'endoscope

- Lancer de rayons en projection perspective

• Navigation Exploratoire Virtuelle

Introduction

Problématique

Approche méthodologique

- Description des données patient

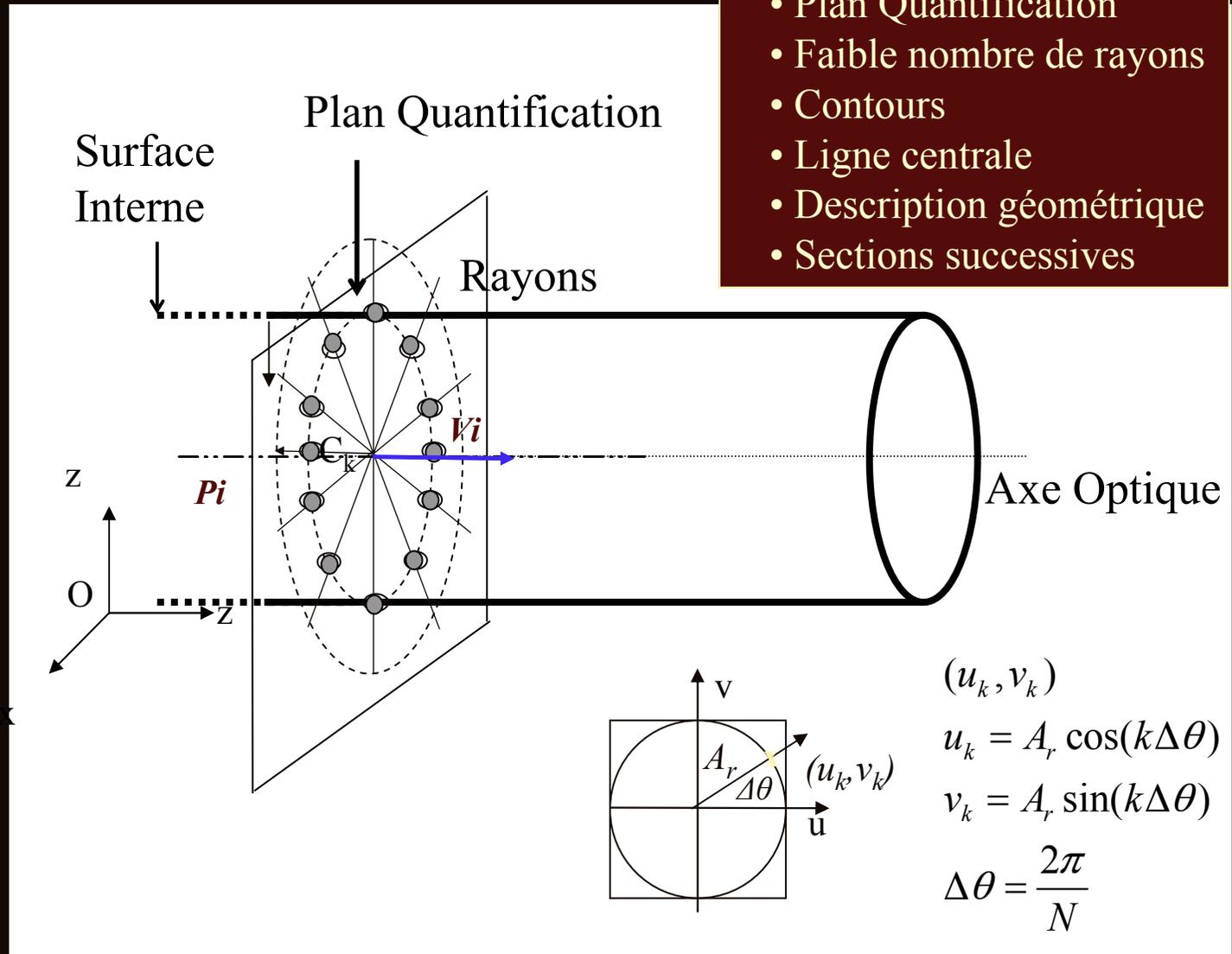
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives

• Analyse locale

- Plan Quantification
- Faible nombre de rayons
- Contours
- Ligne centrale
- Description géométrique
- Sections successives



• Navigation Exploratoire Virtuelle

Introduction

Problématique

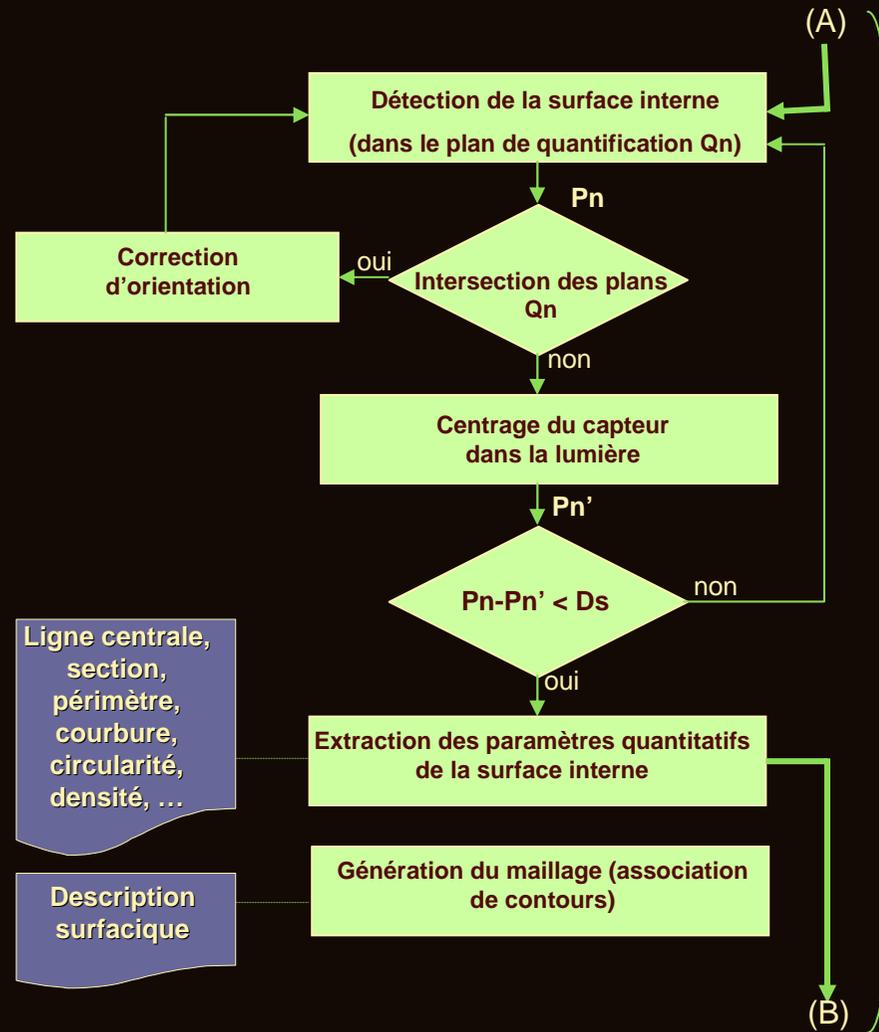
Approche méthodologique

- Description des données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives



Navigation Exploratoire Virtuelle

– Détection

- Contour formé par des points sur les rayons
- Evolution vers le maximum de gradient
- Calcul de seuil

Introduction

Problématique

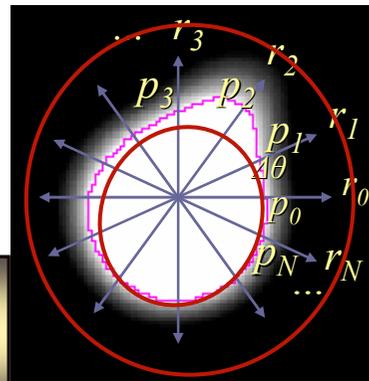
Approche méthodologique

- Description des données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives



$$\Gamma_n = (p_0, p_1, \dots, p_{N-1})$$

$$d_{\Gamma_n} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} d(p_k)$$

$$g_{\Gamma_n} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} g(p_k)$$

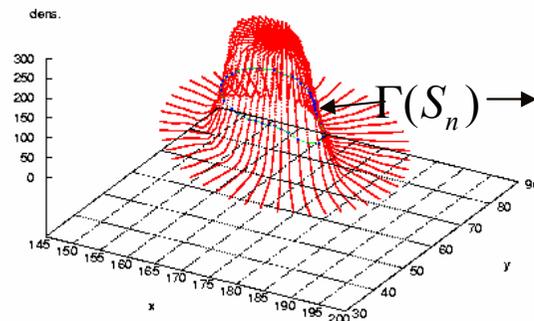
Choix ROI

Initialisation seuil par histogramme

Recherche dichotomique seuil -> max de gradient

$\Gamma(S_1)$

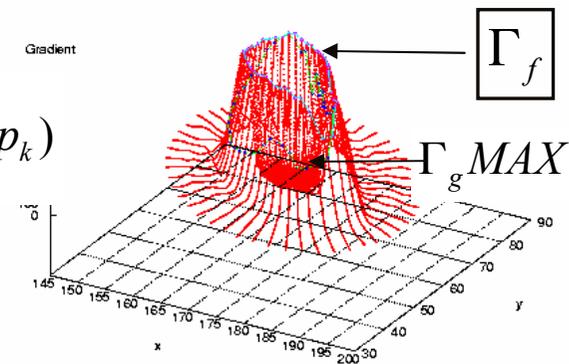
$\Gamma(S_n)$



densité

$$g_{\Gamma_{gMAX}} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} g(p_k)$$

est maximal



gradient

Navigation Exploratoire Virtuelle

– Détection

- Résultats (Images TDM Aorte)

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

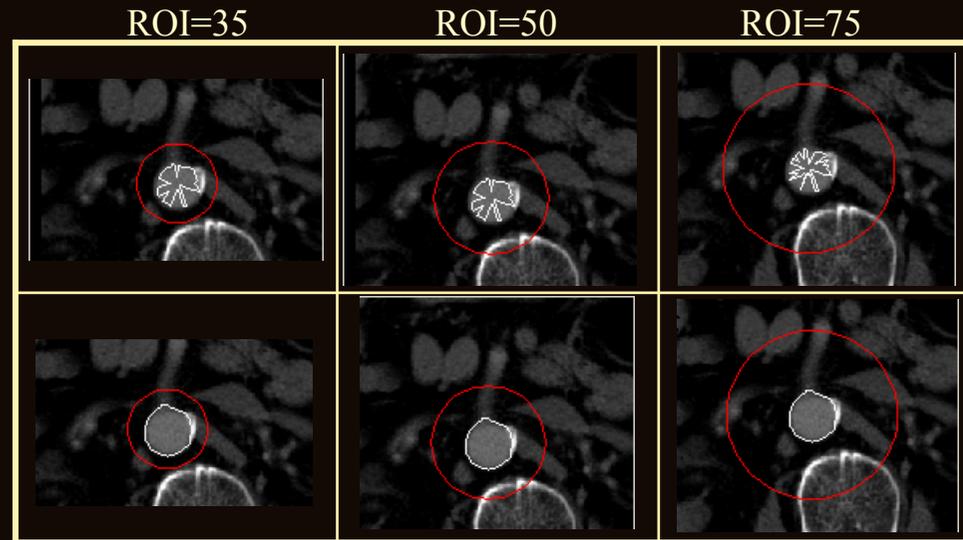
- Description des
données patient

- Simulation

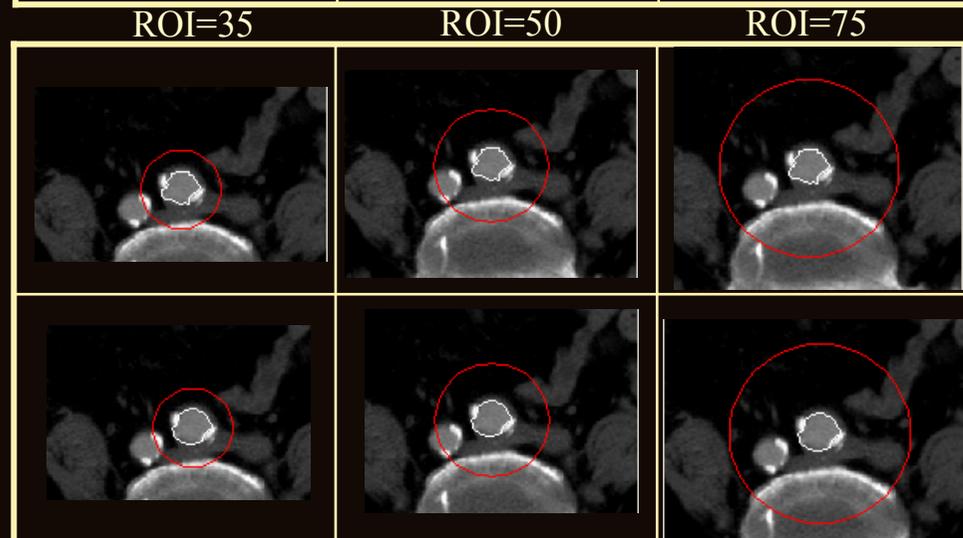
Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Exemple 1



Exemple 2



- **Navigation Exploratoire Virtuelle**

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

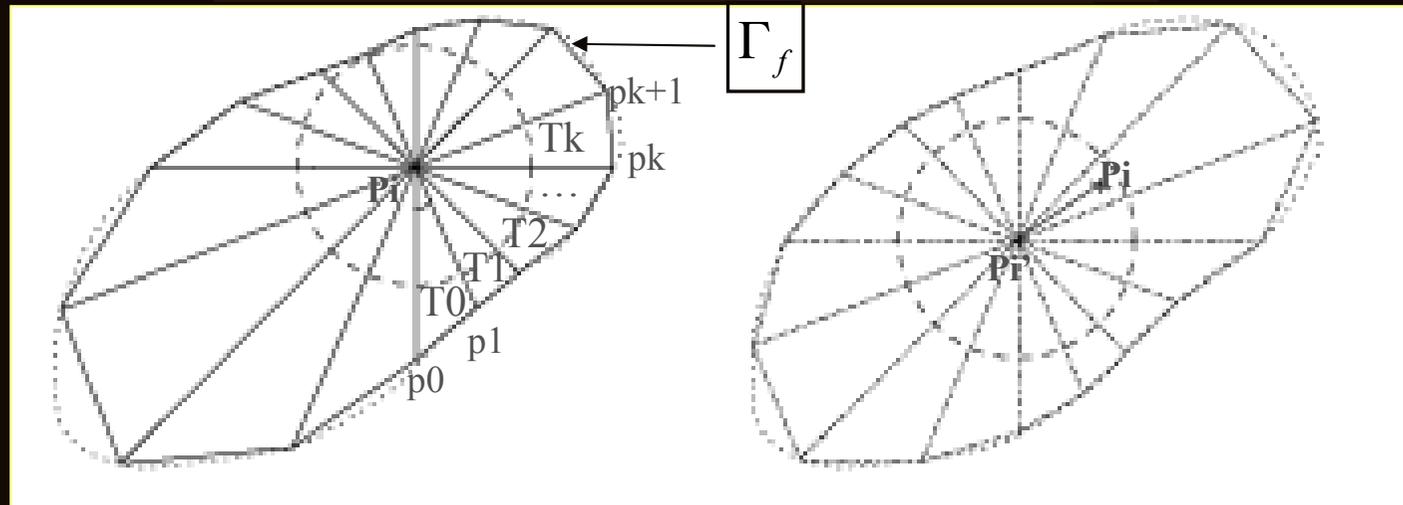
- Description des
données patient

- Simulation

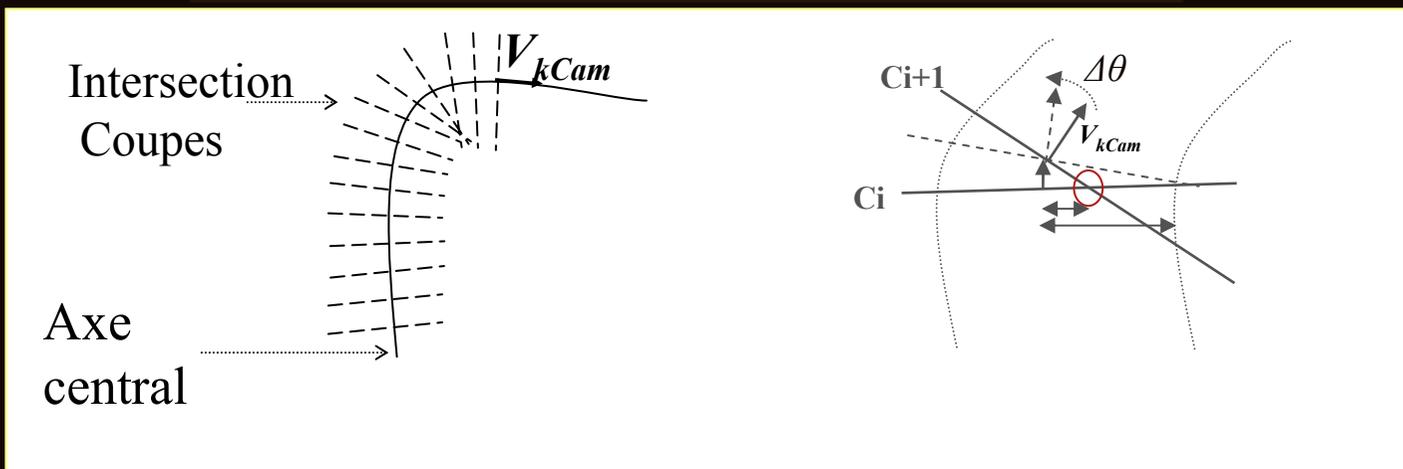
Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Centrage (O'Rourke98)



Réorientation



- Navigation Exploratoire Virtuelle
- Navigation active

Introduction

Problématique

Approche méthodologique

- Description des données patient

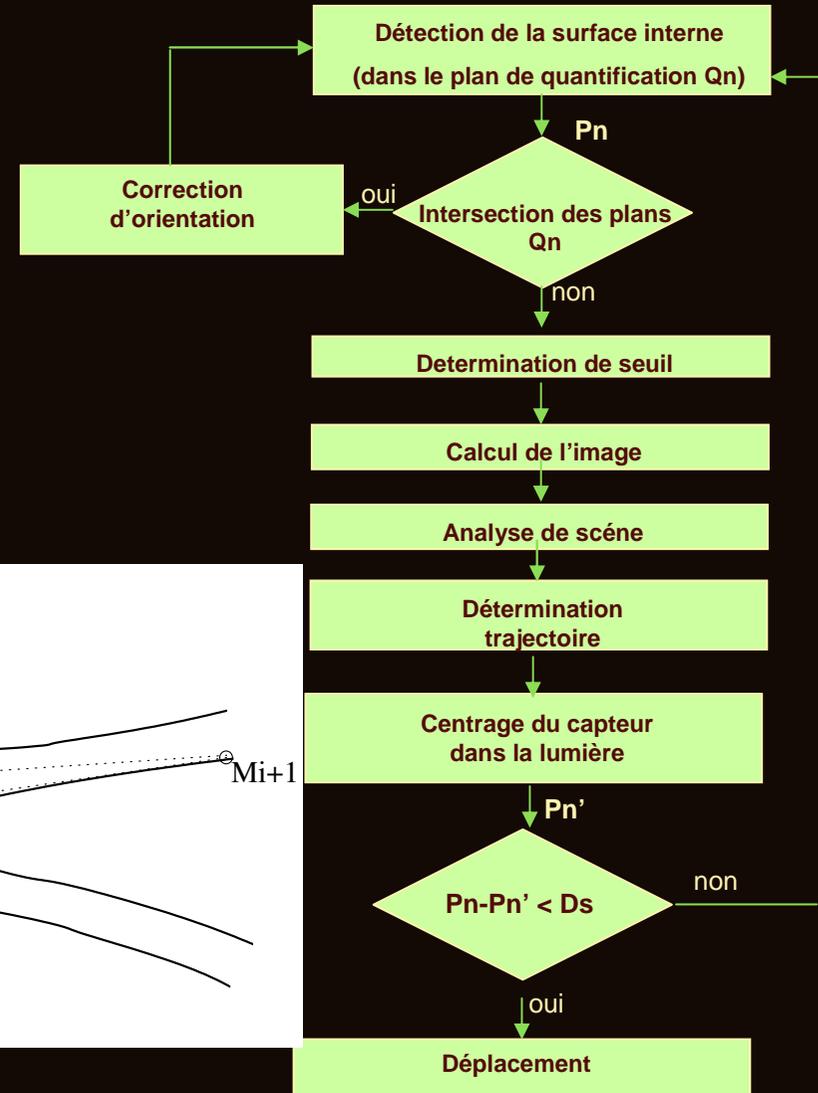
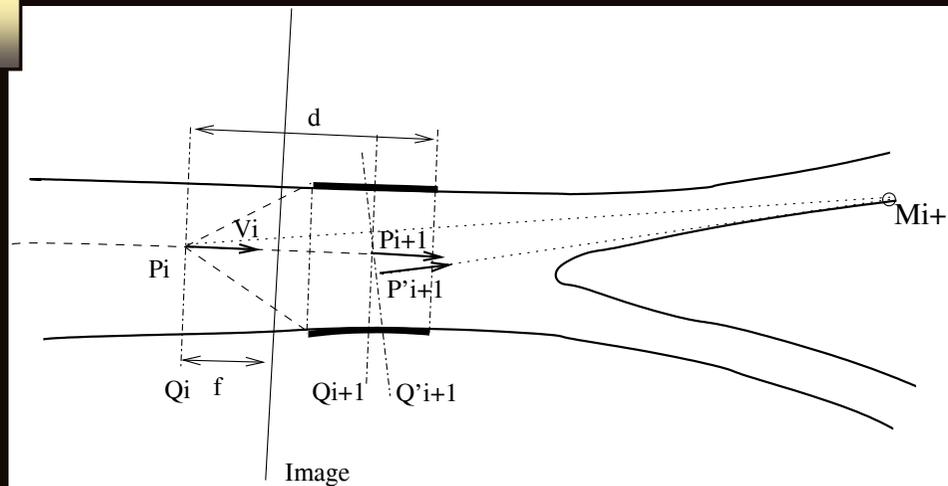
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives

Fonction d'analyse de scène simplifiée

Détection Maxima de profondeur



- Description géométrique

- Construction maillage

Introduction

Problématique

Approche méthodologique

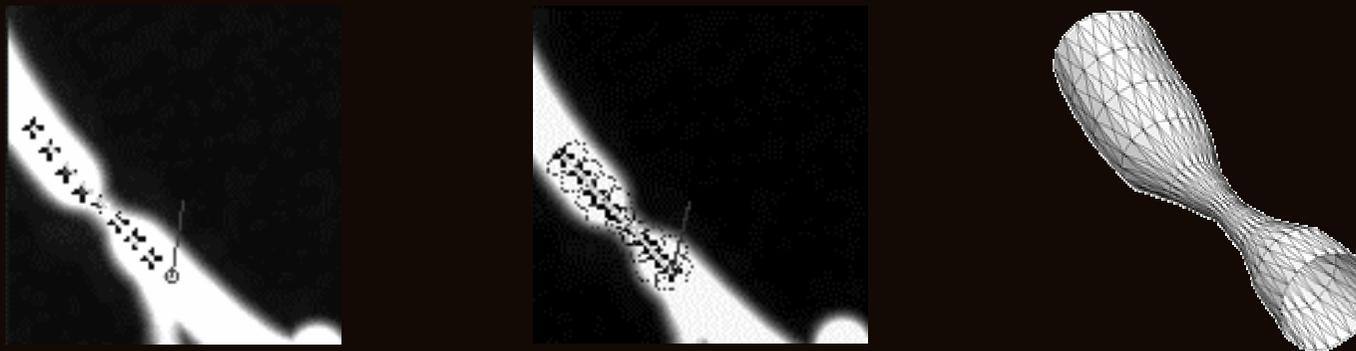
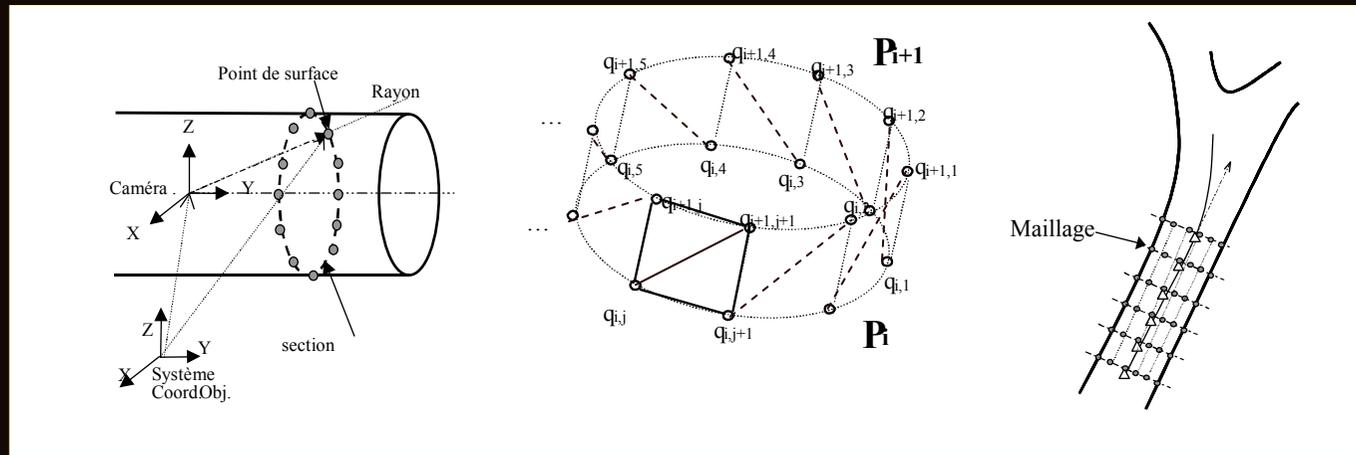
- Description des données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives

Répartition structurée des points de surface détectés au cours de la navigation.



Trajectoire et maillage obtenus après navigation dans un fantôme

- Description géométrique

- Bifurcations

- Extraction de maillages simples et fusion (préservation de la précision)

Introduction

Problématique

Approche méthodologique

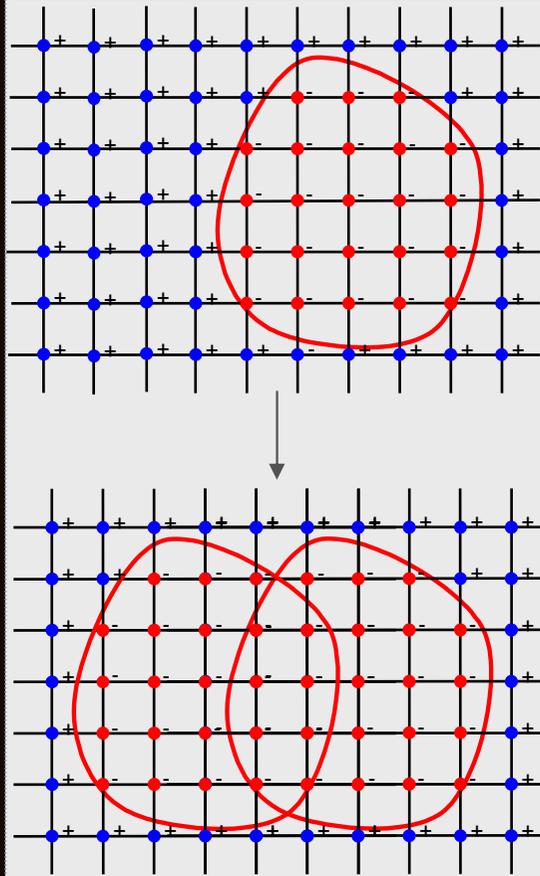
- Description des données patient

- Simulation

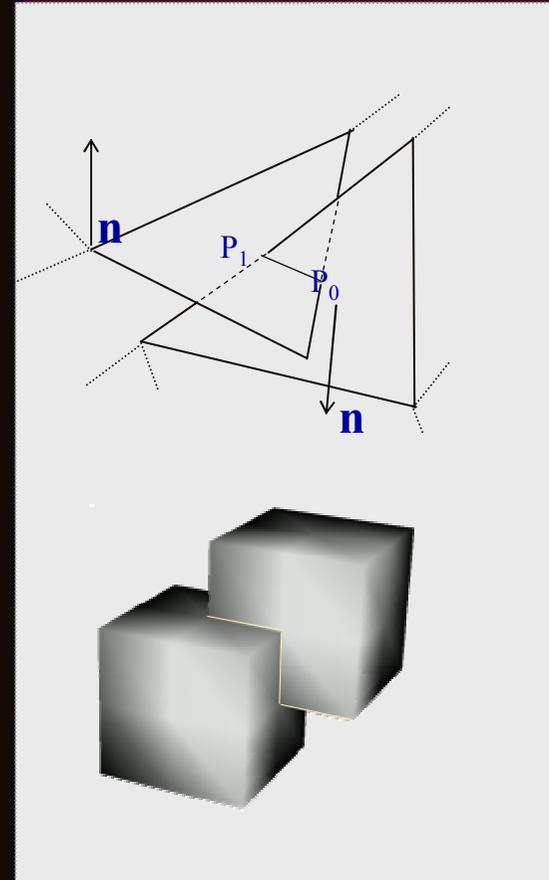
Brachythérapie

Conclusions Perspectives

Fonction scalaire dans une grille (Cebal, 2001)



Intersection de facettes polygonales (S.H.Lo, 1995, Shostko et al. 1995)



• Description géométrique

- Fusion maillages (carte de distances - union)

Introduction

Problématique

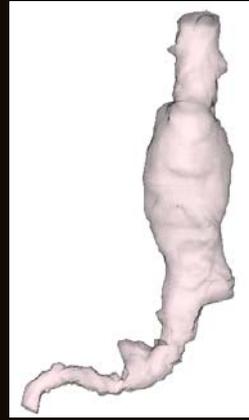
Approche
méthodologique

- Description des
données patient

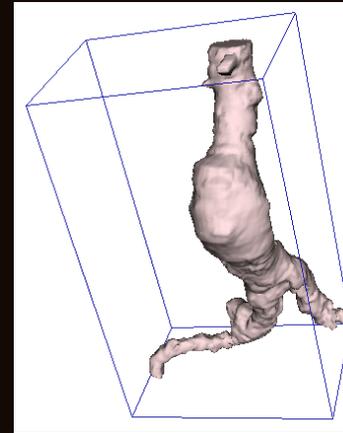
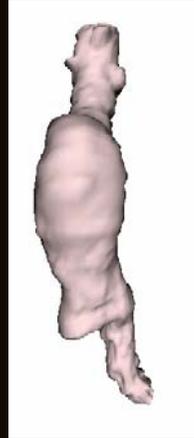
- Simulation

Brachythérapie

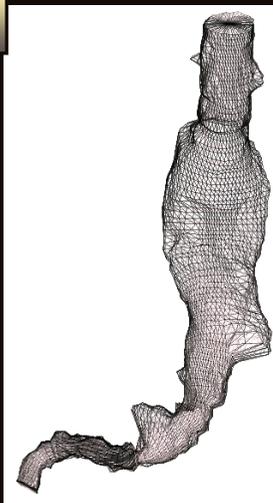
Conclusions
Perspectives



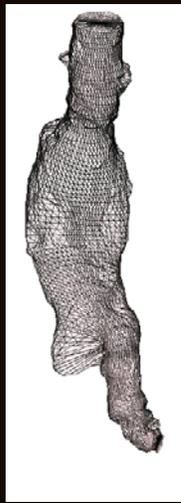
U



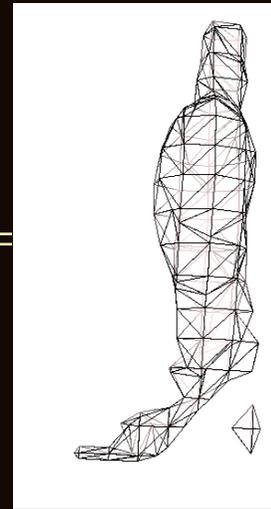
- Temps de calcul
- Dépendance au facteur d'échantillonnage de la grille (N)



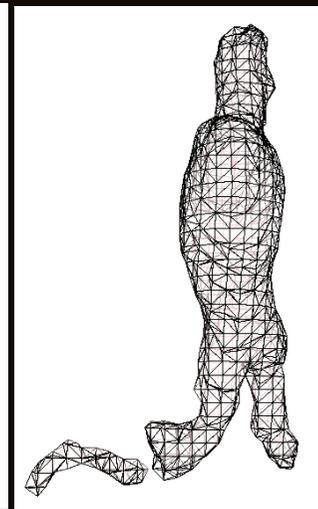
U



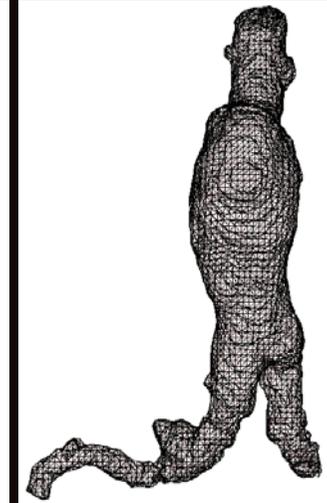
=



N=0,1



N=0,2



N=0,5

• Description géométrique

- Fusion maillages (Calcul d'intersections)

Introduction

Problématique

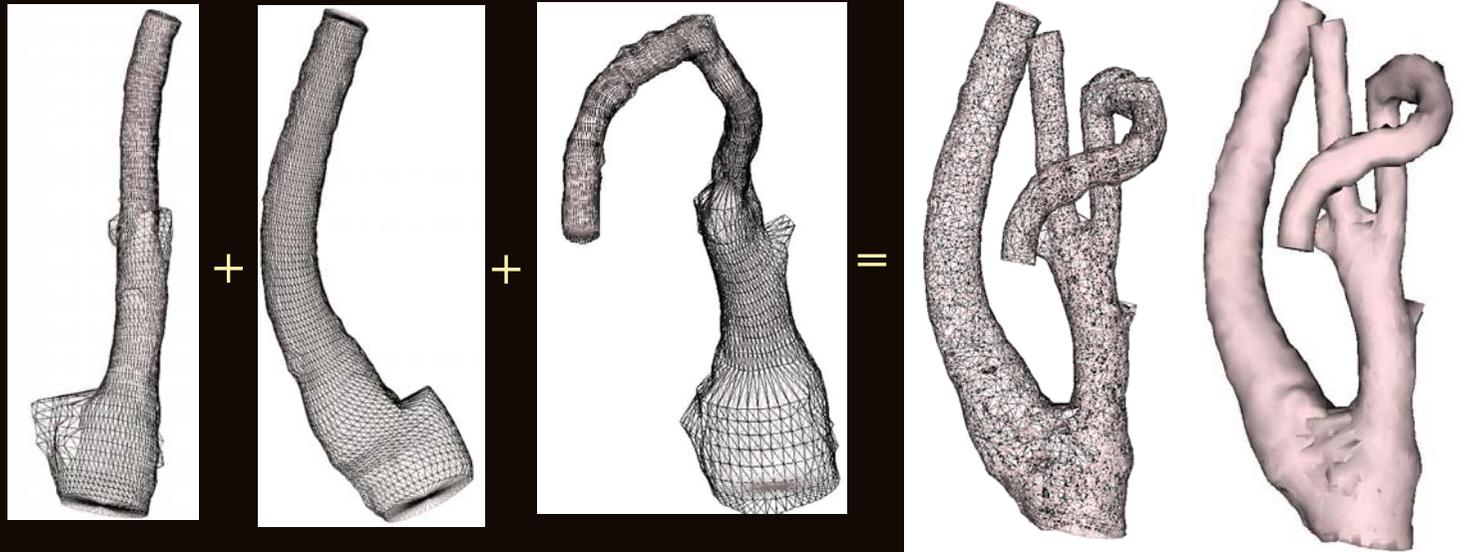
Approche
méthodologique

**- Description des
données patient**

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



- ↑ • Temps de calcul
- Conservation de la précision

- Description géométrique

Introduction

Problématique

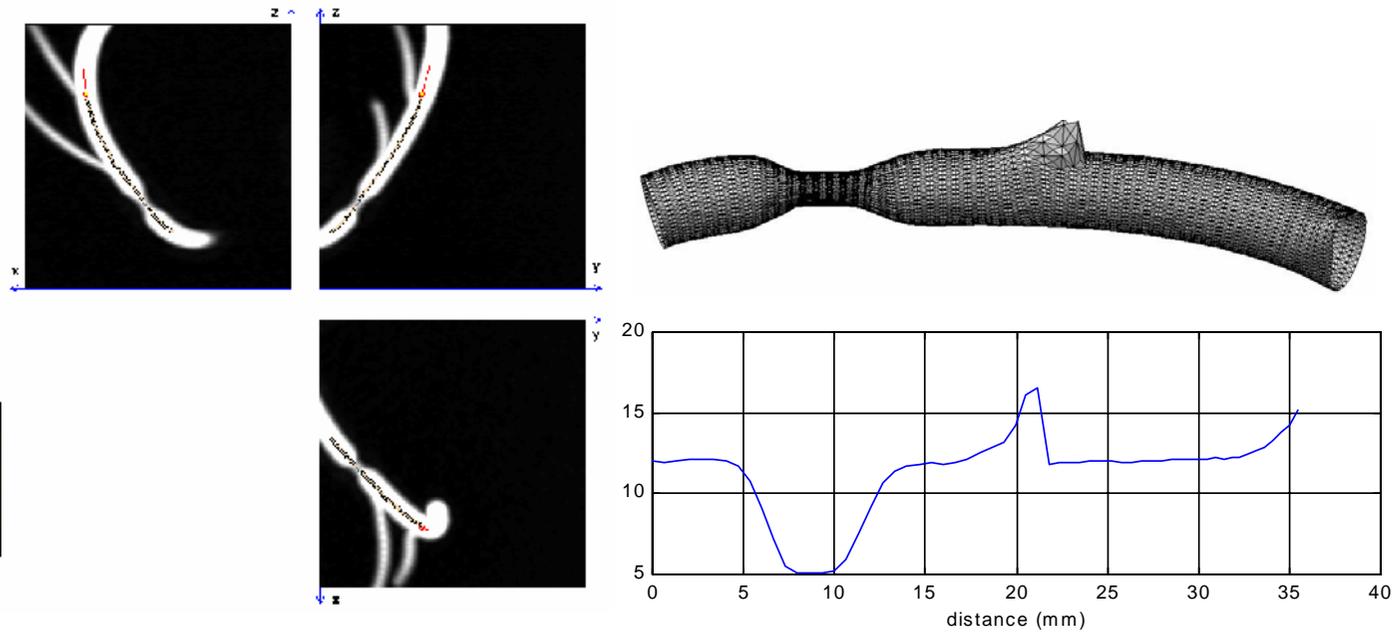
Approche
méthodologique

**- Description des
données patient**

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



- Pendant l'exploration, le capteur construit une courbe qui représente l'évolution de la section de la lumière interne le long de la trajectoire.

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

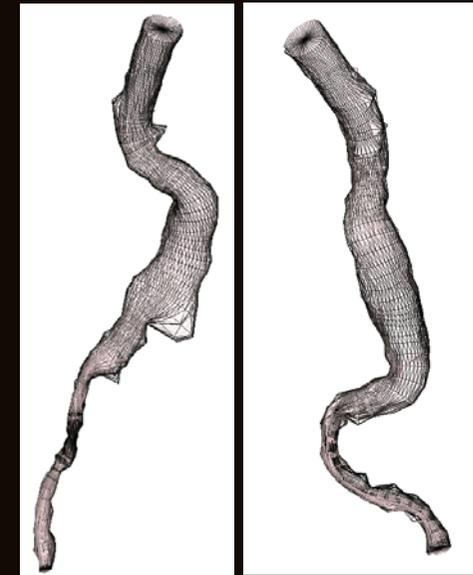
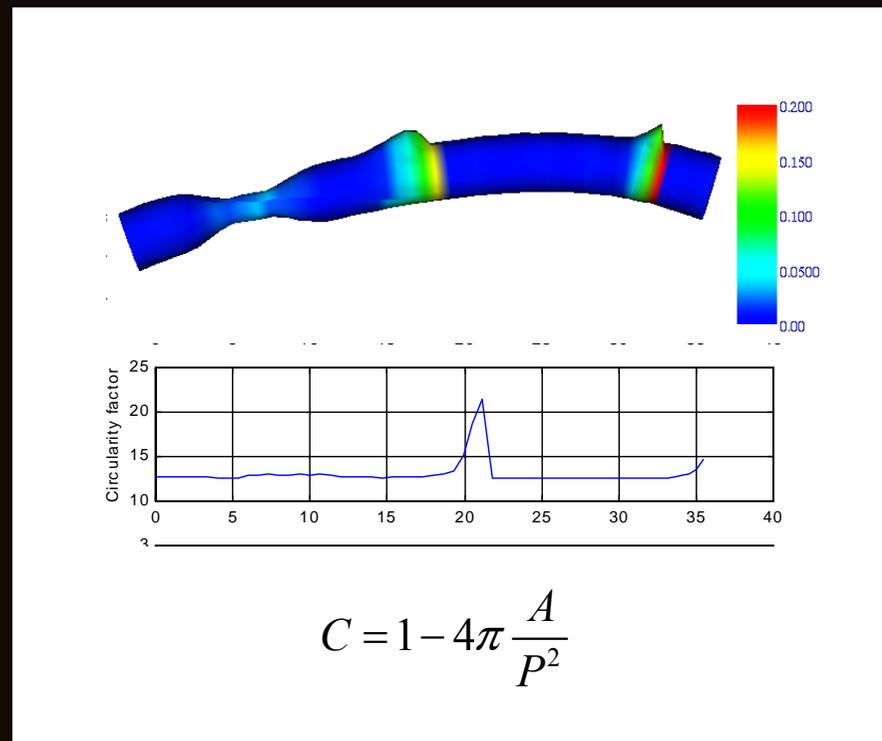
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

• Description géométrique

- Exploitation de la description surfacique et de la trajectoire
 - Dimensions (longueur, périmètre, section)
 - Facteur de circularité
 - Tortuosité (Bullitt01)
 - Parallélisme de la paroi



$$T=1,53$$

$$T = \frac{L}{\|P_0 - P_k\|}$$

• Description géométrique

- Exploitation de la description surfacique et de la trajectoire
 - Dimensions (longueur, périmètre, section)
 - Facteur de circularité
 - Tortuosité
 - Parallélisme de la paroi

Introduction

Problématique

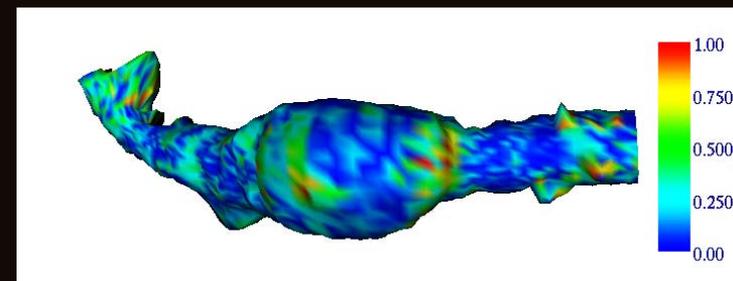
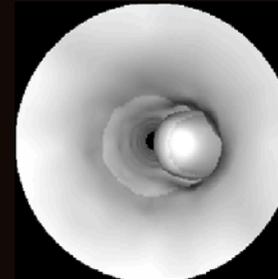
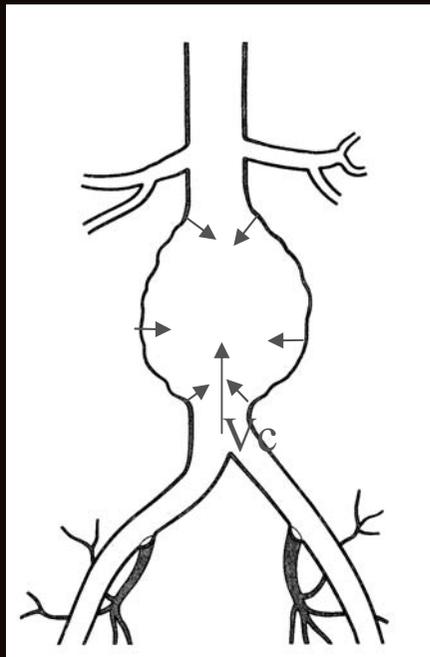
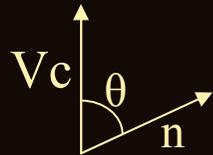
Approche
méthodologique

**- Description des
données patient**

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



- Analyse pariétale

- Représentation de l'information de densité de la paroi

Introduction

Problématique

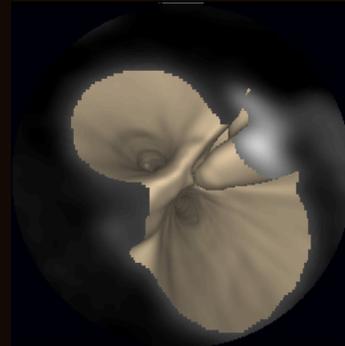
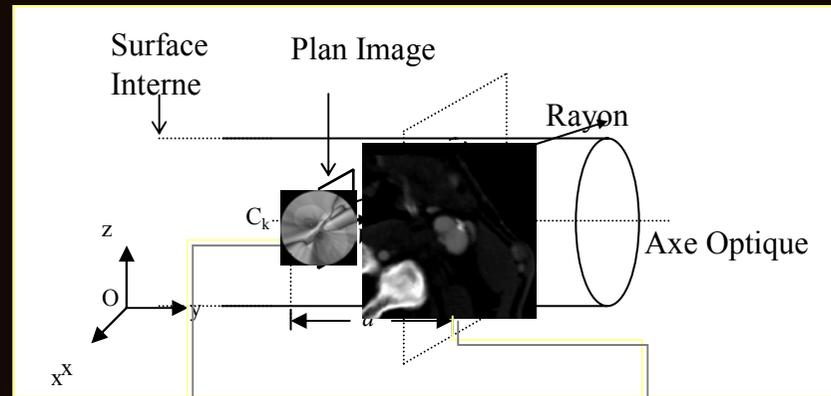
Approche
méthodologique

- Description des
données patient

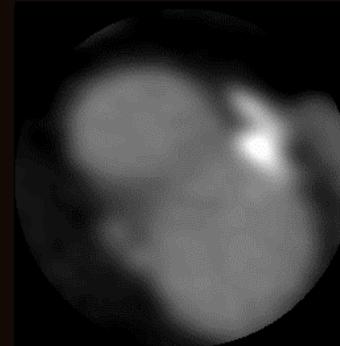
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



Vue endoscopique



Coupe Reformatée

- **Analyse pariétale**

- Représentation de l'information de densité de la paroi

Introduction

Problématique

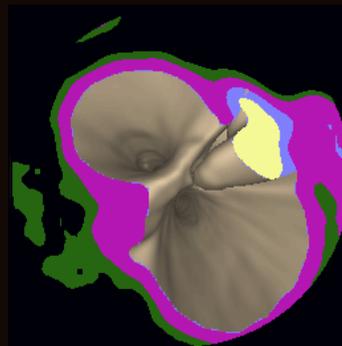
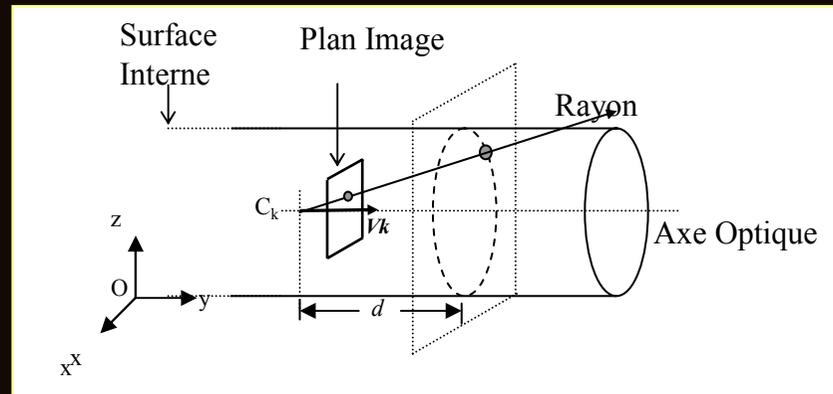
Approche méthodologique

- Description des données patient

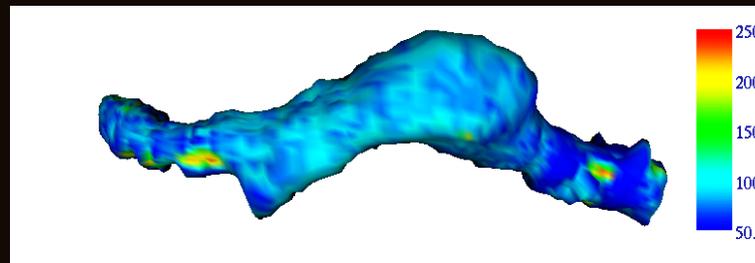
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives



Segmentation de la paroi par formation de régions de densité homogène.



Information de densité rapportée à la surface

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

**- Description des
données patient**

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

- Évaluation

- Modèle animal (sténose brebis)
- Données Patient (Dimensionnement des endoprothèses aortiques)

Évaluation

- Modèle animal (sténose brebis)

Introduction

Problématique

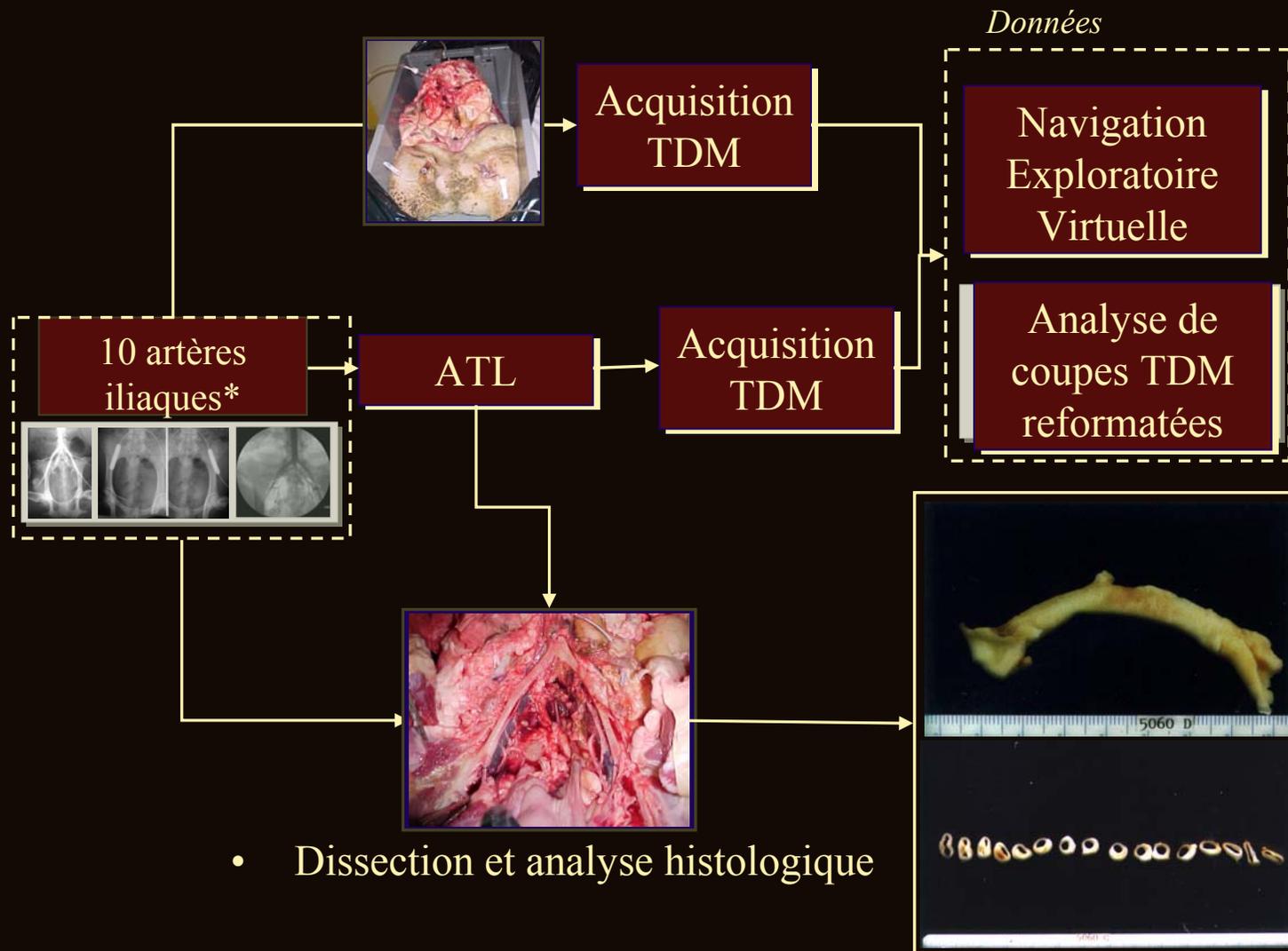
Approche méthodologique

- Description des données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives



*DEA - C.Moisan

• Évaluation

- Modèle animal (sténose brebis)

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

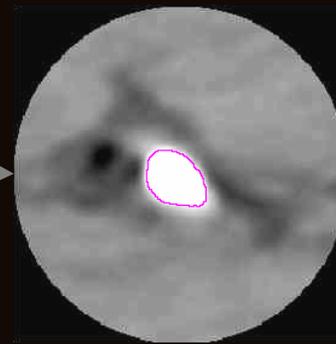
- Description des
données patient

- Simulation

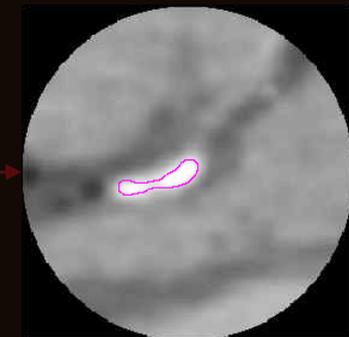
Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Analyse de
coupes TDM
reformatées

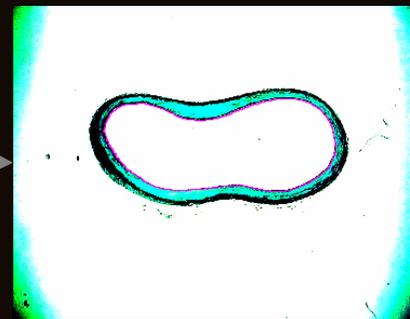


Référence



Sténose

Analyse
histologique



Dist= 5.5 cm,
Area = 18.708 mm²,
P = 20.775 mm



Dist = 2.5 cm,
Area = 5.551 mm²,
P = 12.083 mm.

$$\%sténose = \left(1 - \left(\frac{A_{ST}}{A_{REF}}\right)\right) \times 100$$

- Évaluation

- Modèle animal (sténose brebis)

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

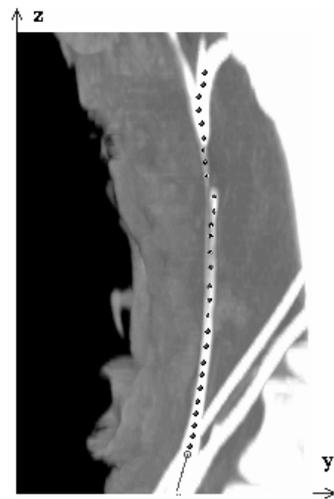
- Description des
données patient

- Simulation

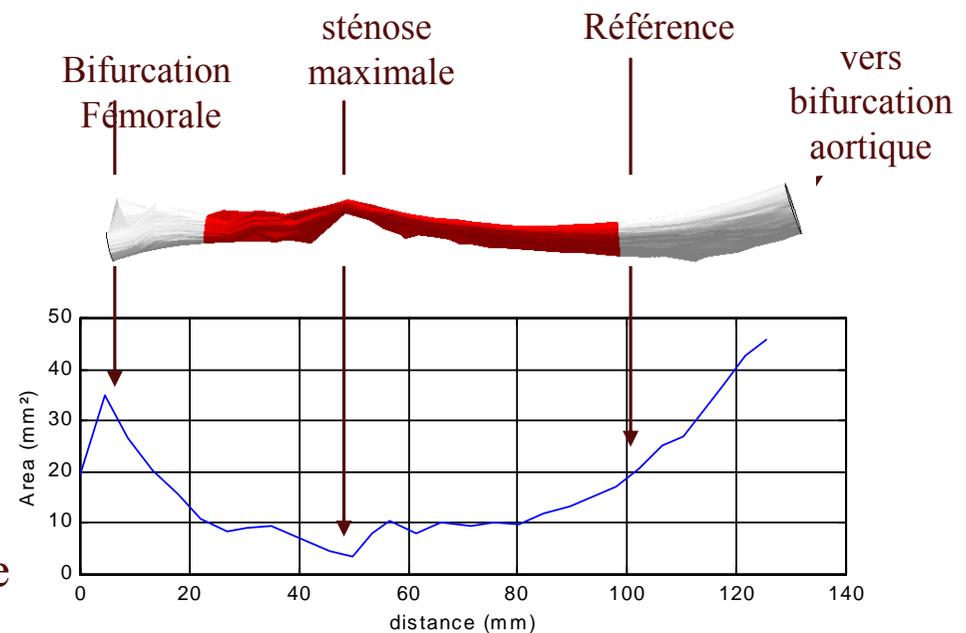
Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Navigation
Exploratoire
Virtuelle



• Bifurcation fémorale
comme Référence



• Évaluation

– Modèle animal (sténose brebis)

Introduction

% sténoses

Problématique

Approche
méthodologique

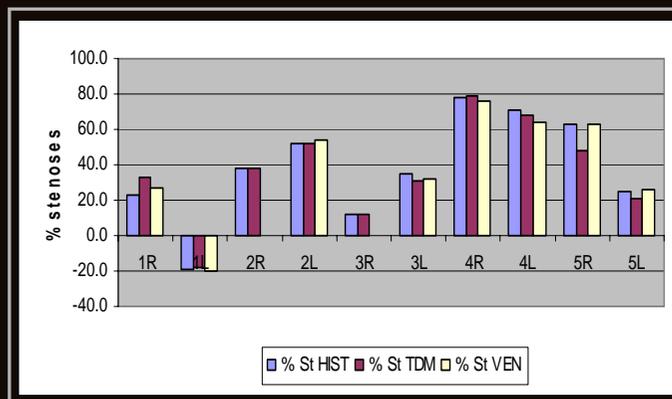
- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

N°	% St HIST	% St TDM	% St VEN
1R (ATL)	22.70%	32.80%	27.10%
1L (ATL)	-19.00%	-18.10%	-20.08%
2R (ATL)	38.30%	37.70%	
2L	51.90%	52.30%	53.90%
3R (ATL)	11.70%	12.50%	
3L	34.90%	31.40%	31.70%
4R	78.40%	79.00%	75.60%
4L	70.90%	67.60%	64.40%
5R	63.10%	48.10%	63.40%
5L	25.20%	21.00%	26.00%



• Évaluation

- Données patient
- Dimensionnement des endoprothèses aortiques AAA (paramètres géométriques de la structure).

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

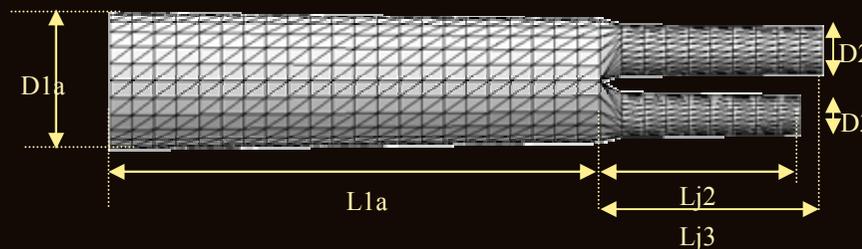
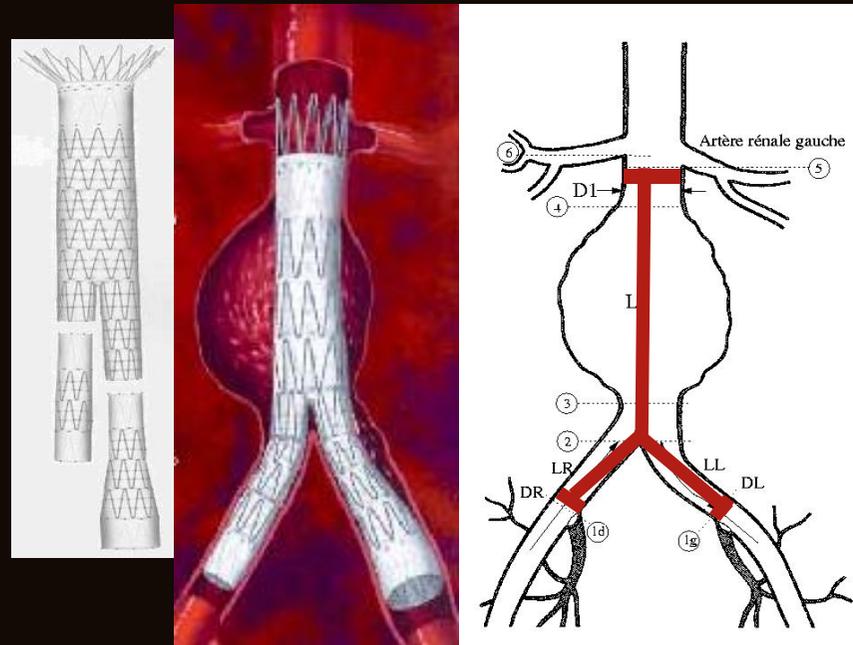
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

5 Patients
AAA

D1, DR, DL
L1+LL
L1+LR



Évaluation

- Données patient
- Dimensionnement des endoprothèses aortiques AAA

Introduction

Problématique

Approche méthodologique

- Description des données patient

- Simulation

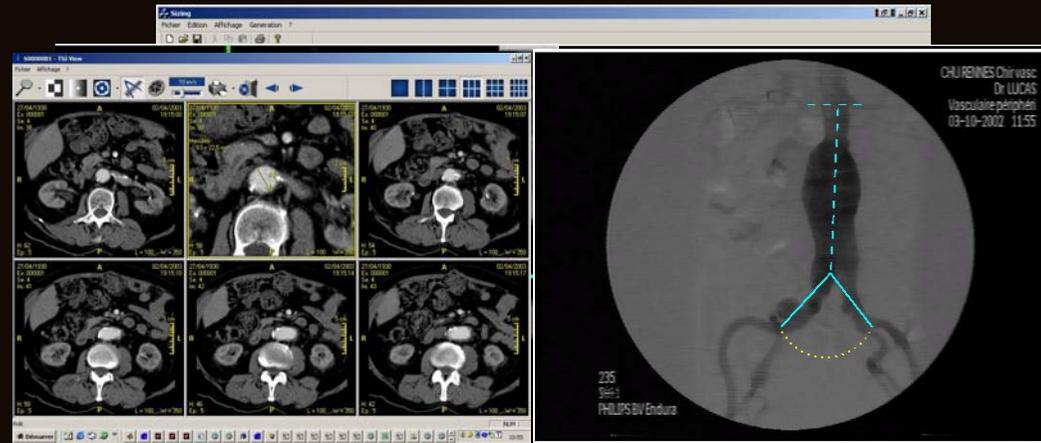
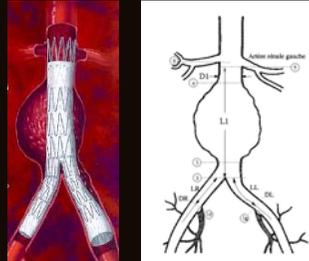
Brachythérapie

Conclusions Perspectives

Analyse
NEV

Navigation active
Repères interactifs

5 Patients
AAA



Coupes TDM
Coupes TDM
formatées

Artériographie 2D



Volume TDM

• Évaluation

- Données patient
- Dimensionnement des endoprothèses aortiques AAA

Introduction

Problématique

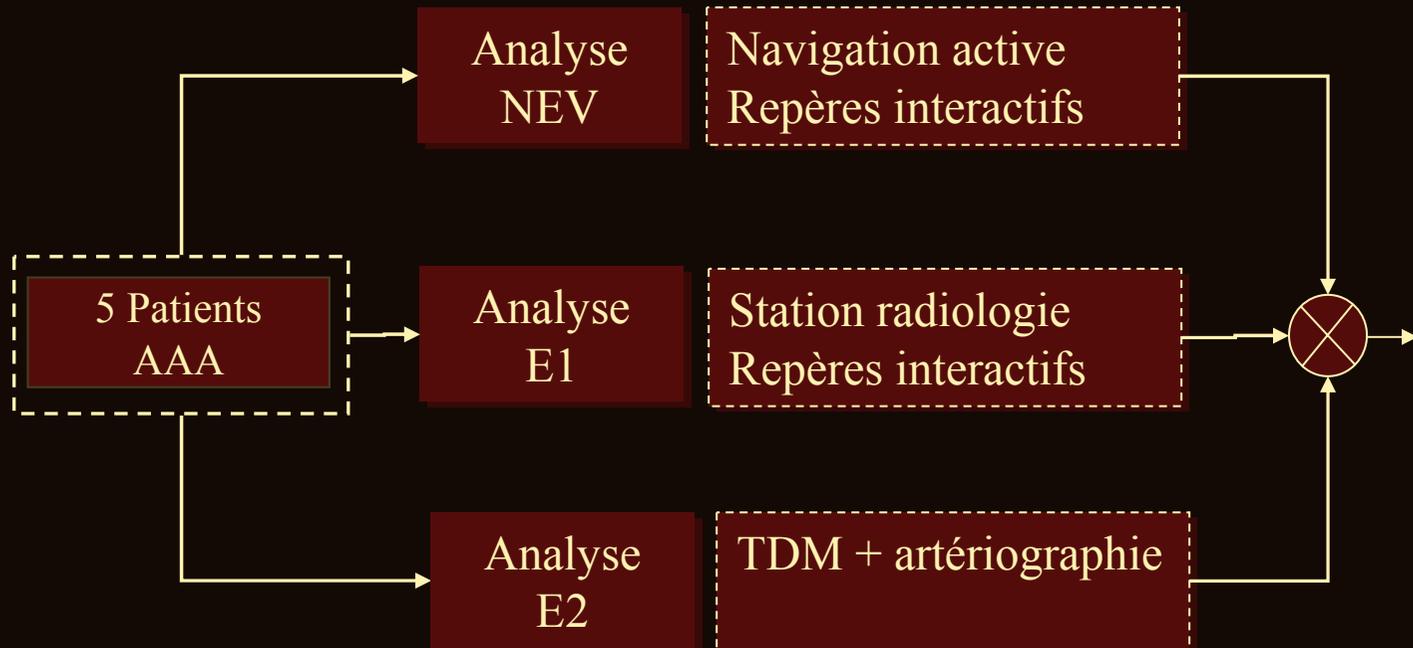
Approche
méthodologique

**- Description des
données patient**

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



Évaluation

- Données patient
- Dimensionnement des endoprothèses aortiques AAA

Introduction

Problématique

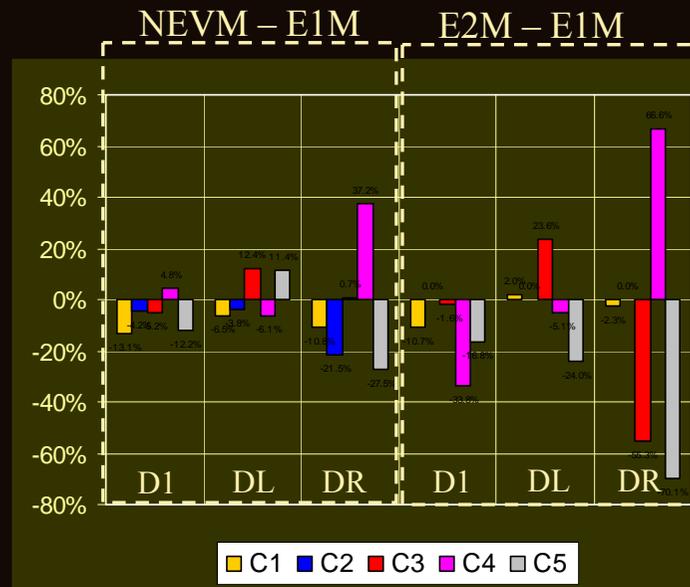
Approche méthodologique

- Description des données patient

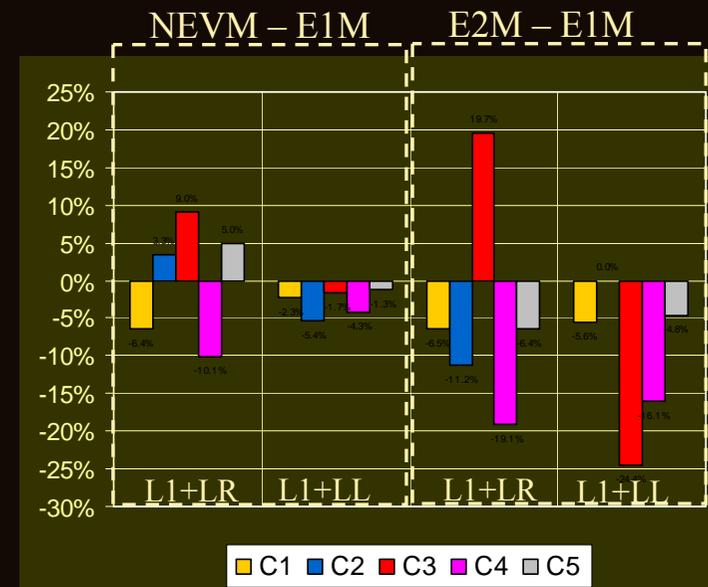
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives



Diamètres



Longueurs

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

- Simulation en chirurgie

- Objectif

- Entraînement et apprentissage (*Marescaux00, Delingette00*)
 - Modèles génériques
- Planification
 - Modèles spécifique patient
 - Problèmes d'identification *in vivo* (*Noble02*)
 - Modèles en zones de lésion

- Modélisation

Interaction

- Mécanique
- Thermique
- Radiothérapie

• Simulation en chirurgie

– Interaction mécanique

- Tissus rigides

- Tissus mous

modèles viscoélastiques

Introduction

Problématique

- Déplacements

- Déformations

Approche
méthodologique

Modèles déformables

- Description des
données patient

Complexité ↑

Géométrie

Physique

Eléments finis
(Cotin99)

Masses-Ressorts
(Terzop87)

Déformations
libres(Cover93)

ChainMail
(Gibson98)

Splines,..

Réalisme →

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

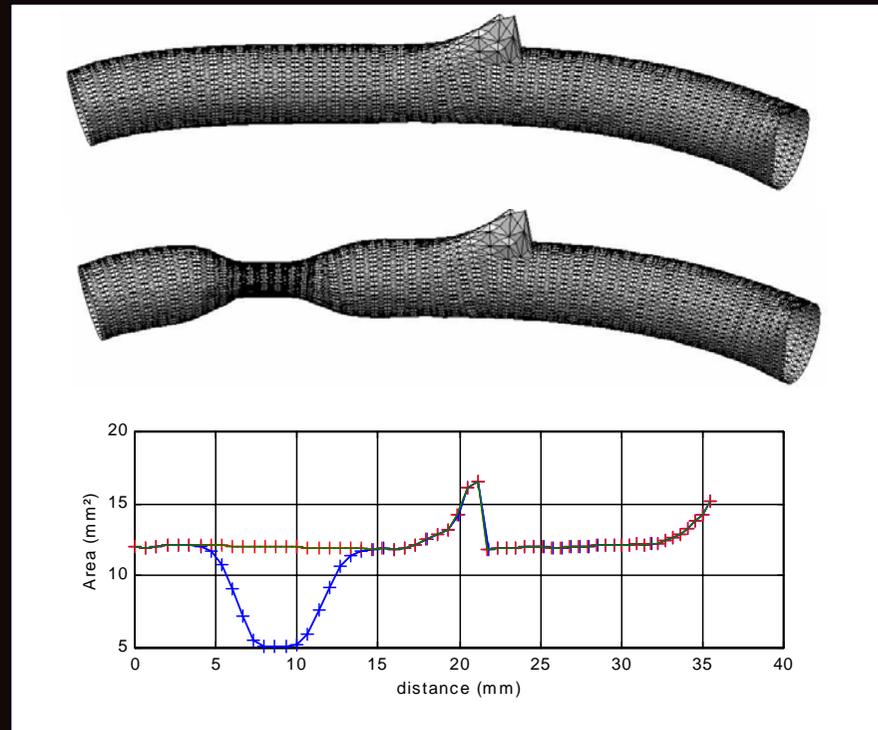
Simulation ATL

- Simulation ATL

Déformation géométrique

Calcul de surface idéale

Estimation de géométrie que l'artère devrait avoir après une ATL.
Hypothèse : ballon non-compliant



Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

- Dilatation ATL

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

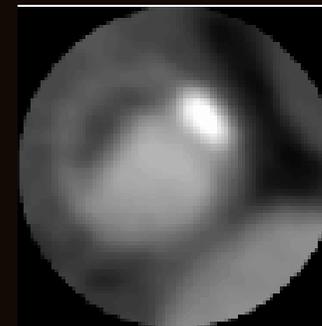
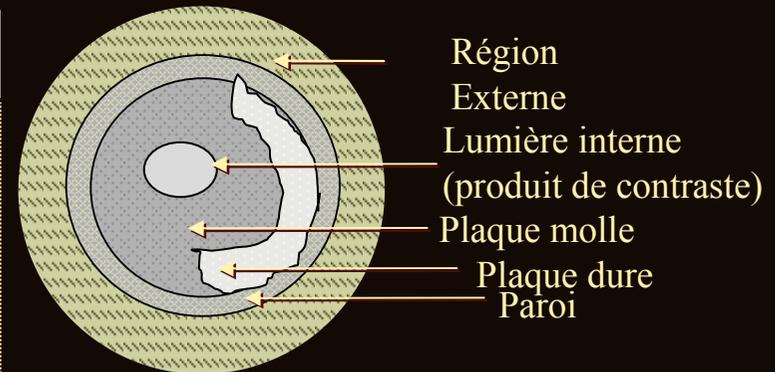
Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Approche physique

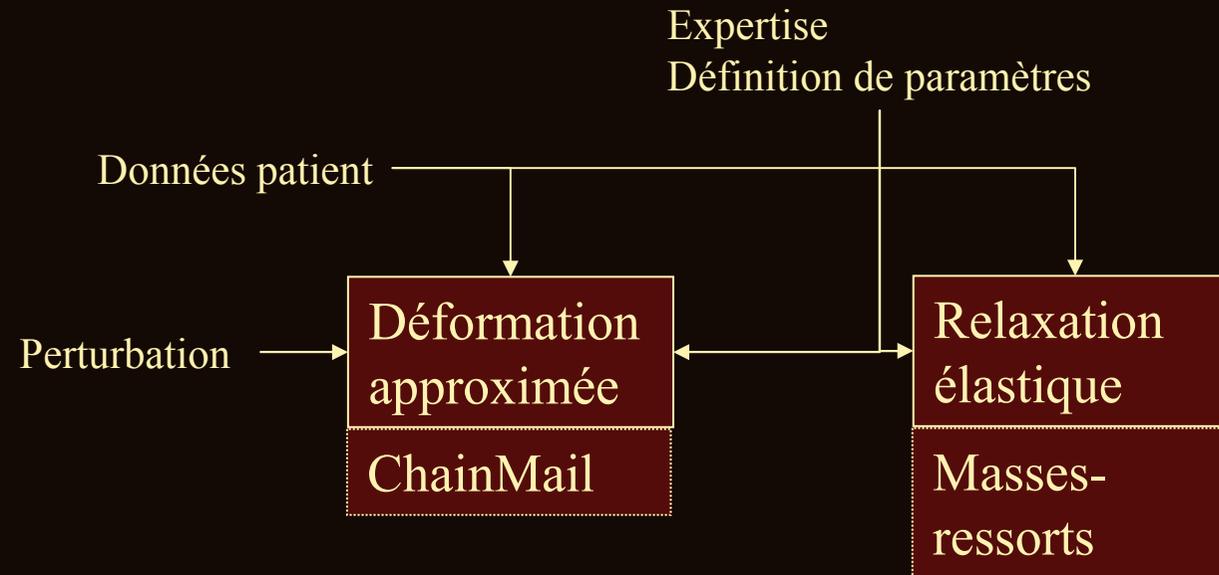
Modélisation

- Représentation volumique
- Identification de classes
- Comportement macroscopique :
plaque dure se déplace, plaque
molle s'écrase (comportement
hors des limites élastiques)



- Simulation ATL

Approche physique



Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

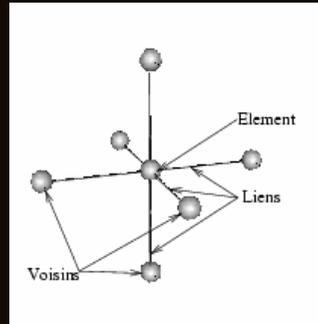
- Simulation

Brachythérapie

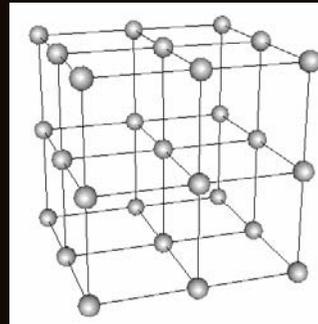
Conclusions
Perspectives

- ChainMail (Gibson98)

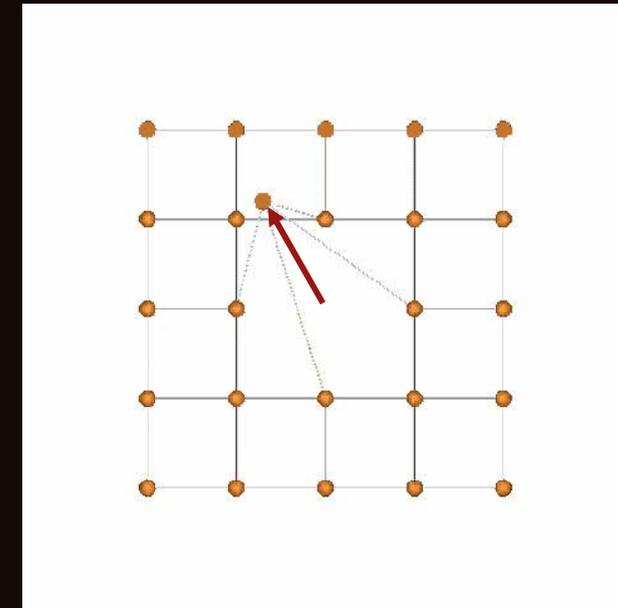
- Représentation volumique (*linked volumes*)
- Définition de contraintes géométriques
- Propagation d'une perturbation



Linked Elément



Linked Volume



- **ChainMail-Relaxation élastique**

Introduction

Problématique

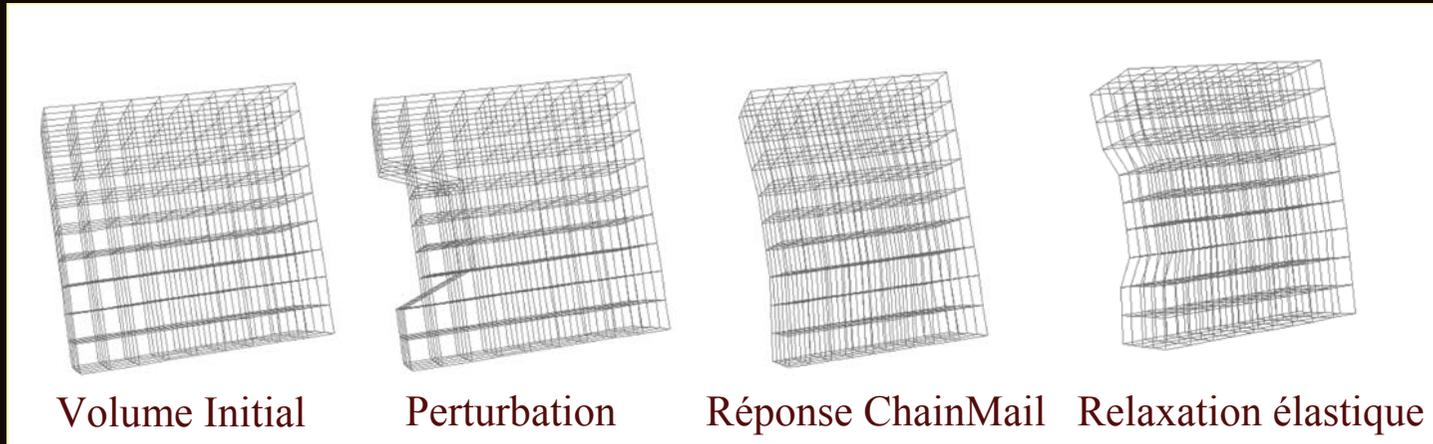
Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



Problème :
Etablir les relations contrainte-
déformation dans le sens radial
(grille rectangulaire)

Etablir des liens
diagonaux

Passer par un
repère
intermédiaire

Dilatation ATL

- Passage par un repère intermédiaire ballon
- Définition des contraintes de distances

Introduction

Problématique

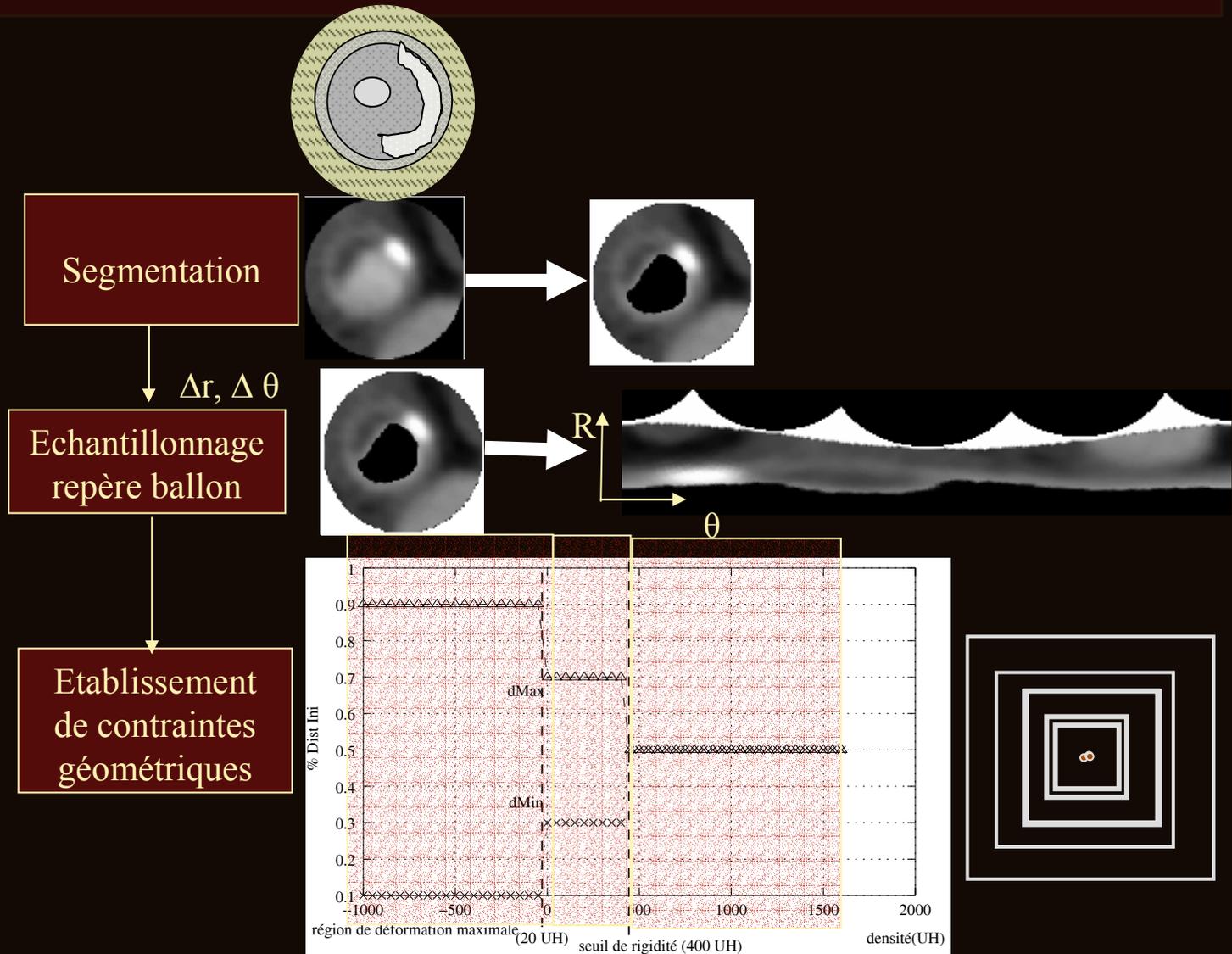
Approche méthodologique

- Description des données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives



- Dilatation ATL
 - Passage par un repère intermédiaire ballon

Introduction

Problématique

Approche méthodologique

- Description des données patient

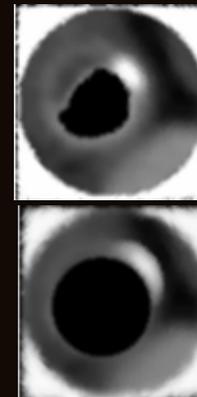
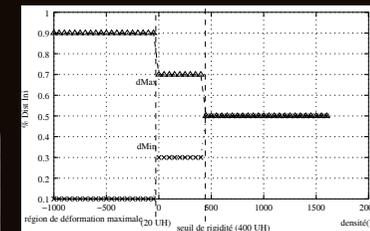
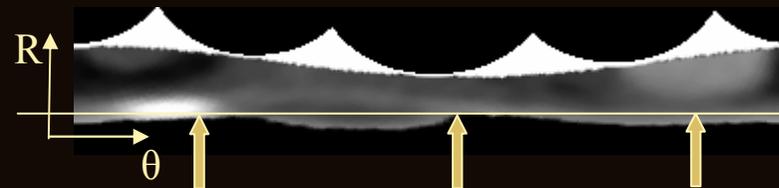
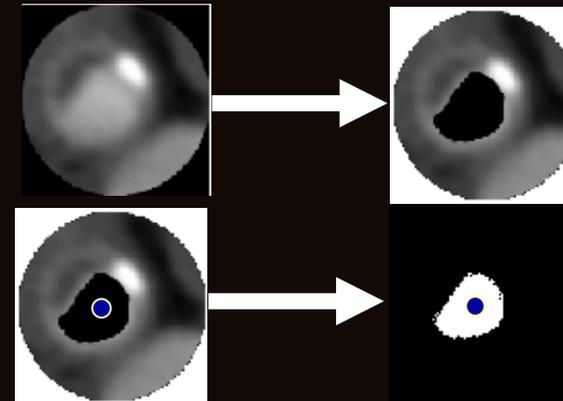
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives



$\Delta r, \Delta \theta$



- Résultats

Introduction

Problématique

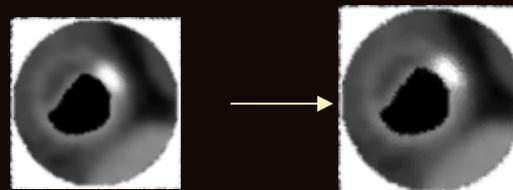
Approche
méthodologique

- Description des
données patient

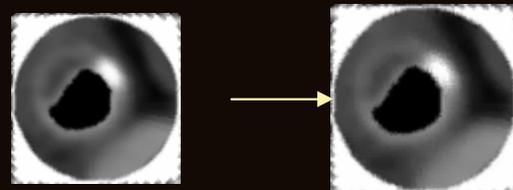
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



$\Delta r=1, \Delta\theta=2$



$\Delta r=1, \Delta\theta=5$

• Planification

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

- *Objectif* : Sécurisation de la procédure d'irradiation dans des artères périphériques

Problématique :

- Paramètres de l'irradiation :
 - Actuellement 12 Gy à 3 mm de la source
 - Prise en compte de la géométrie du vaisseau
- Irradiation d'un site de resténose qui a été dilaté : perte de l'information concernant la resténose (longueur, degré, localisation)
- Irradiation du vaisseau jusqu'à l'adventice sans léser les structures environnantes

Planification

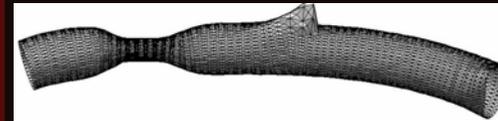
Introduction

Acquisition TDM avant ATL



Problématique

- Analyse de la structure
 - Lumière interne
 - Description géométrique



Approche méthodologique

- Description des données patient

- Détermination de paramètres
 - Ligne centrale du vaisseau.
 - Surface Idéale



- Simulation

- Calcul de dose

→ Géométrie du vaisseau

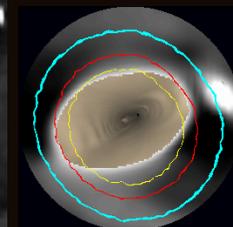
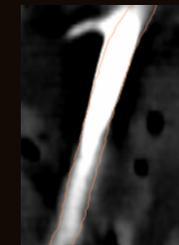
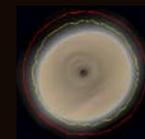
$$\min f(x) = \sum_{i=1}^{N_p} (D_i - I(P))^2$$

*LIST, Nankin, Chine

Brachythérapie

Conclusions Perspectives

- Visualisation de la distribution de dose.



• Planification

Introduction

Problématique

Approche méthodologique

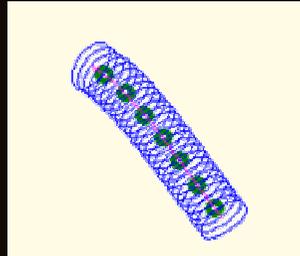
- Description des données patient

- Simulation

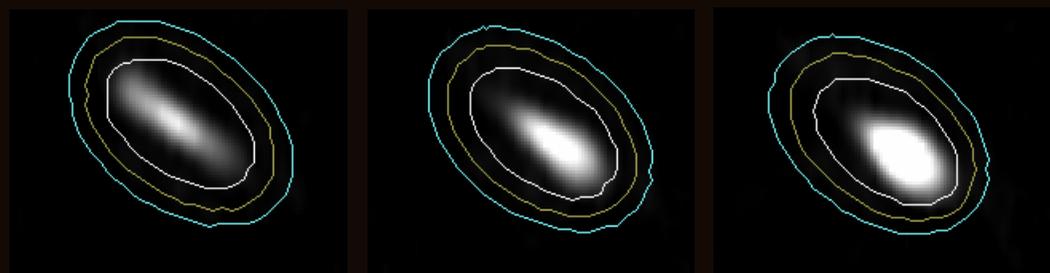
Brachythérapie

Conclusions Perspectives

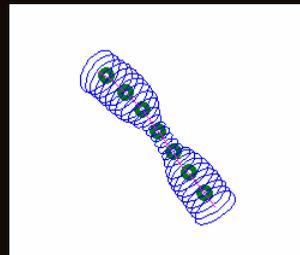
Positions	P ₀	P ₀ +5mm	+10 mm	+15 mm	+20 mm	+25 mm	+30 mm
Time (s)	23,2	9,5	14,4	11,8	14,2	9,7	21,9



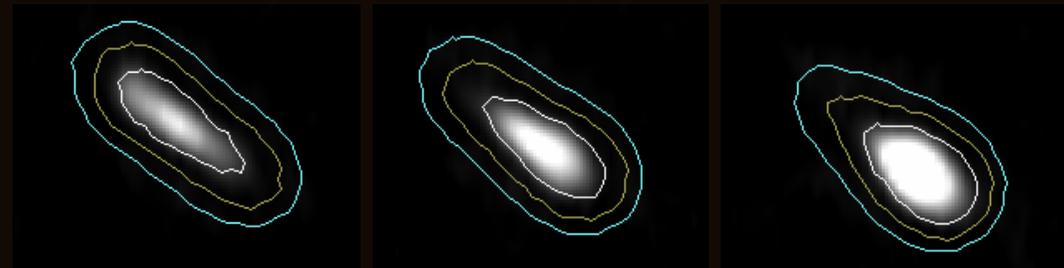
b) Rayon Moy: 3,6 mm



Positions	P ₀	P ₀ +5mm	+10 mm	+15 mm	+20 mm	+25 mm	+30 mm
Time (s)	22,4	14,3	7,5	4,5	6,6	13,3	21,7



a) Rayon Max : 3,6 mm



Courbes isodoses obtenues avec une source ¹⁹²Ir en considérant
a) rayon constant dans le vaisseau (moyenne de rayons).
b) la géométrie du vaisseau

- Planification

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

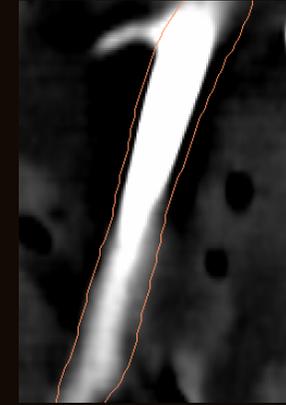
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives



*12 Gy spécifiés à une distance
radiale de 3 mm de la source*



*12 Gy spécifiés en considérant
la morphologie du vaisseau
(rayon + 2 mm)*

- Planification

Planning de dosimétrie à partir de volume TDM pre-ATL

Introduction

Problématique

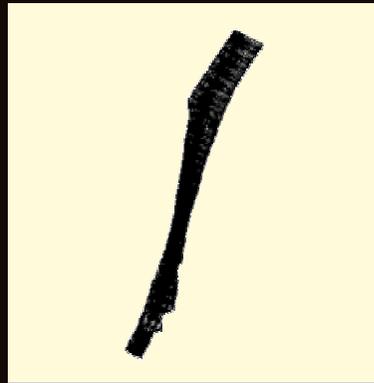
Approche
méthodologique

- Description des
données patient

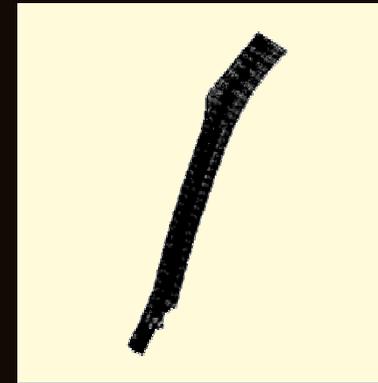
- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

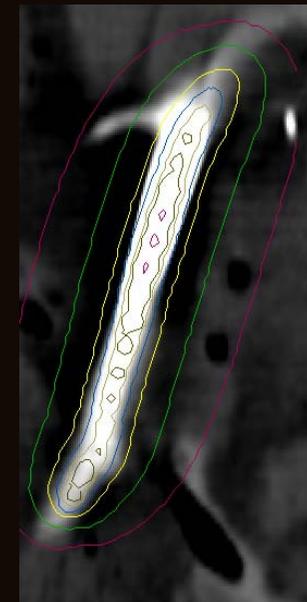
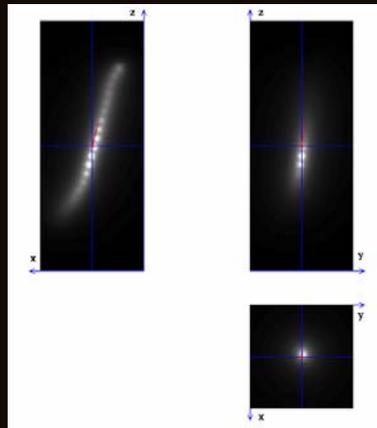


Surface initiale



*Surface
idéale
estimée
(post ATL)*

Calcul de
Distribution
de dose dans
tout le
volume
TDM.



*courbe iso-
dose 12Gy
superposée sur
la surface
interne post-
ATL.*

• Planification et mise en œuvre de la procédure

Introduction

Problématique

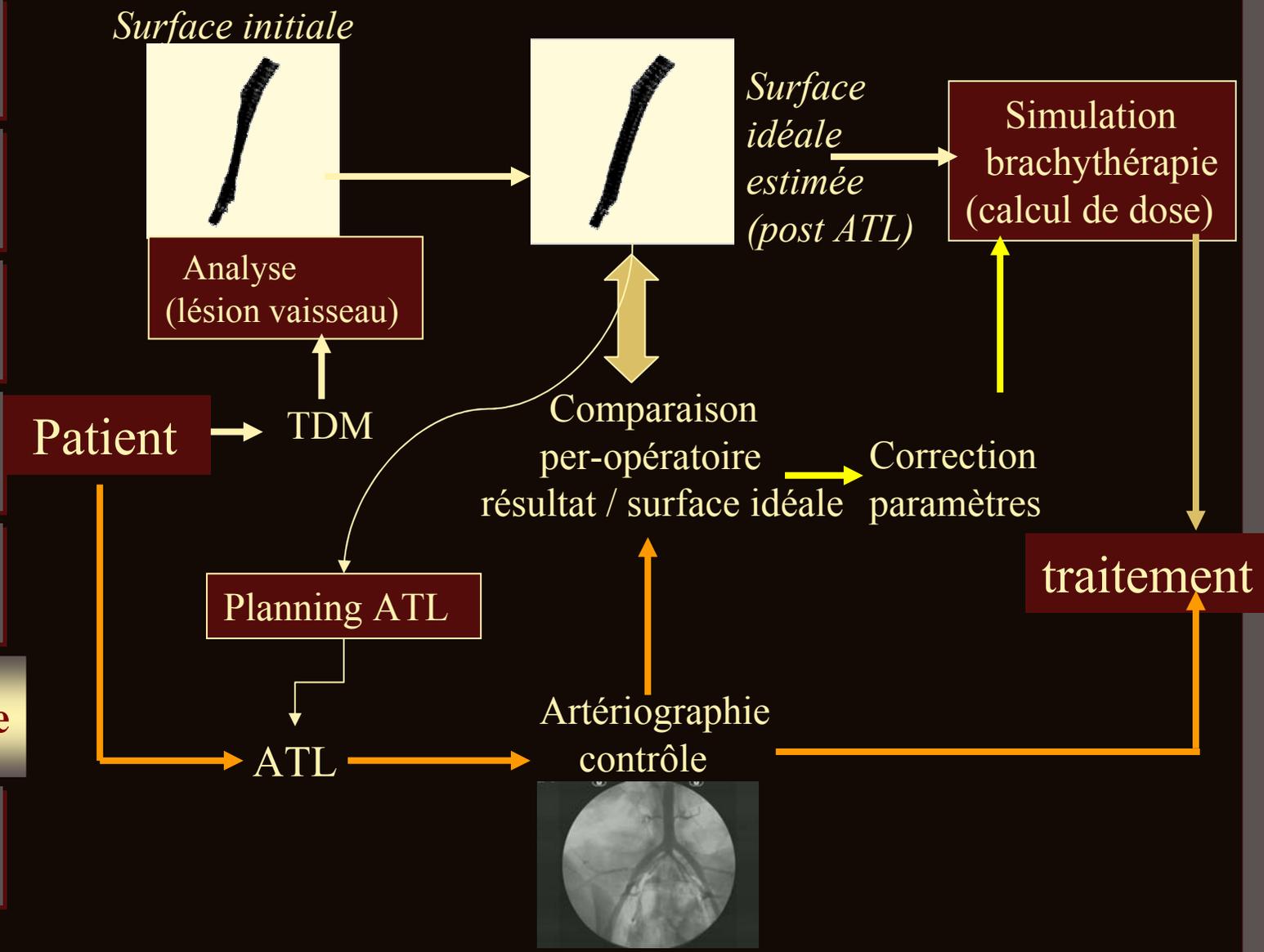
Approche méthodologique

- Description des données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives



Introduction

Problématique

Approche méthodologique

- Description des données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions Perspectives

- Définition d'une méthodologie de planning interventionnel spécifique patient, utilisation des images préopératoires (TDM).
- Analyse des structures vasculaires et construction de modèles géométriques par navigation exploratoire virtuelle.
 - Extension des fonctionnalités du capteur virtuel actif
 - Fusion de maillages
 - Exploitation de la description géométrique pour le planning.
- Simulation des interactions outils-tissus, comportement de la plaque sous l'action d'un ballon lors d'une procédure d'ATL.
 - Modélisation à partir de scénarios simples suivant le comportement macroscopique.
- Mise en oeuvre de protocoles d'évaluation vis à vis des éléments nécessaires au planning.
 - Données animal et données patient.

Introduction

Problématique

Approche
méthodologique

- Description des
données patient

- Simulation

Brachythérapie

Conclusions
Perspectives

- Extension à d'autres modalités d'images.
- Extension du schéma de simulation de la dilatation en considérant la géométrie 3D de la structure et de la lésion.
- Validation du schéma de planification de la brachythérapie.

Introduction

Problématique

**Approche
méthodologique**

**- Description des
données patient**

- Simulation

Brachythérapie

**Conclusions
Perspectives**